

Vergleich der mikrobiellen Besiedelung von Zahnbürsten  
mit Bündelstanz-, Bündeleinspritz- und Bündeleinfügebesteckung nach  
zweiwöchigem Gebrauch

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Torsten Kröger  
aus Würzburg

Giessen 2007

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Poliklinik für Kinderzahnheilkunde

Direktor: Prof. Dr. W.-E. Wetzel  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuerin: Dr. F. Ansari  
Gutachter: Prof. Dr. W.-E. Wetzel  
Gutachter: Prof. Dr. R. Füssle

Tag der Disputation: 28.04.2008

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Giessen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten.

Meinen Eltern und Simone gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG.....	1
2	LITERATURÜBERSICHT.....	3
2.1	Mikroorganismen in der Mundhöhle.....	3
2.2	Mundhygiene.....	5
2.3	Geschichte der Zahnbürste.....	11
2.4	Die mikrobielle Besiedelung der Zahnbürste.....	13
2.5	Verankerung der Borsten.....	16
2.5.1	Historische Verfahren zur Borstenverankerung.....	16
2.5.2	Metallplättchenverankerung / Bündel-Stanzbesteckung.....	17
2.5.3	Bündel-Einspritzbesteckung.....	18
2.5.4	Bündel-Einfügebesteckung.....	19
3	MATERIAL UND METHODE.....	20
3.1	Bürsten- und Besteckungsmerkmale.....	20
3.1.1	Fotografische Untersuchungen.....	21
3.1.2	Makrofotografische Untersuchungen.....	21
3.1.2.1	Probenvorbereitung.....	21
3.1.2.2	Makrofotografische Darstellung.....	21
3.1.3	Rasterelektronenmikroskopische-Untersuchungen (REM).....	22
3.1.3.1	Probenvorbereitung.....	22
3.1.3.2	REM-Darstellung.....	22
3.2	Klinische Anwendung der Zahnbürsten.....	23
3.2.1	Vorversuch.....	23
3.2.2	Zahnputzstudie.....	24
3.2.2.1	Patienten und Zahnputzmaßnahmen.....	24
3.2.2.2	Kariesdiagnostik.....	25
3.2.2.3	Plaque-Index.....	28
3.3	Mikrobiologische Untersuchungen.....	29
3.3.1	Keimbesiedelung des Speichels.....	29
3.3.1.1	CRT bacteria Test.....	29
3.3.1.2	Sabouraud Agar-Test.....	32

3.3.2	Keimbesiedelung der Zahnbürsten.....	33
3.4	Statistik.....	34
4	ERGEBNISSE.....	35
4.1	Bürstenkopfmerkmale und Bearbeitung der Borstenenden.....	35
4.1.1	Produkt A: Bürsten mit Bündel-Stanzbesteckung.....	35
4.1.1.1	Konstruktion des Bürstenkopfes.....	35
4.1.1.2	REM-Befunde der Borstenenden.....	36
4.1.2	Produkt B: Bürsten mit Bündel-Einspritzbesteckung.....	37
4.1.2.1	Konstruktion des Bürstenkopfes.....	37
4.1.2.2	REM-Befunde der Borstenenden.....	38
4.1.3	Produkt C: Kinderbürsten mit Bündel-Stanzbesteckung .....	39
4.1.3.1	Konstruktion des Bürstenkopfes.....	39
4.1.3.2	REM-Befunde der Borstenenden.....	40
4.1.4	Produkt D: Kinderbürsten mit Bündel-Einfügebesteckung.....	41
4.1.4.1	Konstruktion des Bürstenkopfes.....	41
4.1.4.2	REM-Befunde der Borstenenden.....	42
4.2	Borstenbesteckung.....	43
4.2.1	Prinzip 1: Bürsten mit Bündel-Stanzbesteckung.....	43
4.2.1.1	Makrofotografische Untersuchung.....	43
4.2.1.2	REM-Befunde.....	45
4.2.2	Prinzip 2: Bürsten mit Bündel-Einspritzbesteckung.....	46
4.2.2.1	Makrofotografische Untersuchung.....	46
4.2.2.2	REM-Befunde.....	47
4.2.3	Prinzip 3: Bürsten mit Bündel-Einfügebesteckung.....	48
4.2.3.1	Makrofotografische Untersuchung.....	48
4.2.3.2	REM-Befunde.....	49
4.3	Patienten.....	50
4.3.1	Geschlechtsverteilung und Durchschnittsalter.....	50
4.3.2	DMF(T) / dmf(t)-Befunde.....	50
4.3.3	Plaque-Index.....	52
4.3.4	Keimbesiedelung des Speichels vor den Putzversuchen.....	52
4.3.4.1	Mutans Streptokokken.....	52
4.3.4.2	Laktobazillen.....	53

4.3.4.3	Candida spezie.....	54
4.4	Keimbesiedelung der Zahnbürsten nach Gebrauch.....	57
4.4.1	Produkte A und B (Erwachsenenbürsten).....	57
4.4.2	Produkte C und D (Kinderzahnbürsten).....	61
4.4.3	Häufigkeit der Keimbesiedelung der untersuchten Zahnbürsten.....	65
5	DISKUSSION.....	66
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	72
7	SUMMARY.....	74
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	76
9	ANHANG.....	88

## 1 Einleitung und Problemstellung

Die moderne Zahnheilkunde ist ohne geeignete Hilfsmittel zur Mundhygiene undenkbar. Eine besondere Bedeutung für die Beseitigung von Mikroorganismen und Plaque aus der Mundhöhle kommt dabei nach wie vor der Zahnbürste zu, da sie mit Abstand von allen Reinigungsutensilien am häufigsten Verwendung findet. Im Gegensatz zu Einwegartikeln, wie zum Beispiel Zahnseide oder Zahnhölzern, ist eine Zahnbürste allerdings über Wochen oder sogar über Monate hinweg im Gebrauch. Durch das wiederholte Einbringen der Bürste in die Mundhöhle kann es auf dem Bürstenkopf zur Anhaftung und zum Wachstum pathogener Keime kommen. Diese können bei erneuter Anwendung der Bürste wieder in die Mundhöhle eingebracht werden und dort eine Reinfektion verursachen.

Auf gebrauchten Bürstenköpfen lässt sich eine große Anzahl von Keimen nachweisen, wobei es in Abhängigkeit der Verwendungsdauer der Bürsten zu einem Anstieg der Keimzahlen kommt [BUCHMANN 1986]. Nach GLASS [1992] besteht ein Zusammenhang zwischen der Gesamtzahl der einzelnen Filamente und der daraus gebildeten Büschel sowie der daraus resultierenden Anhaftung und Weitergabe von Mikroorganismen. In einer Studie von SVANBERG [1978] konnte noch nach einer Trocknungszeit von 24 Stunden eine Anzahl von  $10^4$  Bakterien der Spezies *Streptococcus-mutans* auf Zahnbürsten festgestellt werden, nachdem diese von Probanden mit einer entsprechend kontaminierten Mundhöhle benutzt worden waren. Nach einer Kontamination mit unterschiedlichen Mikroorganismen ließen sich auch nach einer Trocknungszeit von fünf Tagen auf den verwendeten Zahnbürsten noch vitale Keime nachweisen [DAYOUB et al. 1977]. Dahingegen konnten Viren bei trockener Lagerung 48 Stunden lang und bei feuchter Lagerung sogar bis zu sieben Tage lang auf Bürsten aktiv bleiben [GLASS und JENSEN 1989]. Hefepilze können ebenfalls auf benutzten Zahnbürsten überleben, so waren in der Studie von NOGA et al. [1976] immerhin 48,6% der analysierten Bürsten mit dem fakultativ humanpathogenen Pilz *Candida albicans* kontaminiert. Wenn es bei der Zahnreinigung zu Verletzungen der Mundschleimhaut kommt, ist sogar eine durch die Zahnbürste verursachte Reinfektion der Mundhöhle denkbar [NETUSCHIL et al. 1981].

BIENENGRÄBER et al. [1995] bezeichneten das Besteckungsfeld der Zahnbürste daher als Schwachpunkt der Hygienefähigkeit. Nach ALTHAUS et al. [1990] ist es denkbar, dass Mikroorganismen und Speisereste in die Hohlräume des Bestek-



kungsareals hineingedrückt oder auch durch Kapillarkräfte hineingezogen werden. Da diese Bereiche der Zahnbürste nur langsam abtrocknen, liegen hier ausreichende Umgebungsverhältnisse für eine länger andauernde Überlebenszeit der Mikroorganismen vor. Das älteste verwendete Prinzip der Borstenbefestigung, die Bündelstanzbesteckung, zeichnet sich dadurch aus, dass die Borstenbüschel mittels in den Bürstenkopf eingepresster Metallplättchen fest verkeilt werden. Hierzu bedarf es rechts und links neben den Büscheln je einer Hohlraumführung, in die das Metallplättchen eingebracht wird. Nach der Borstenbüschelfixierung resultiert so ein quer durch das Büschel verlaufender zentraler Spalt. Außerdem kommt es zwischen den einzelnen Filamenten herstellungsbedingt noch zur Ausbildung kleinerer Spalten und Hohlräume [WETZEL et al. 1988]. Aus diesem Grund sahen ALTHAUS et al. [1990] und MÜLLER et al. [1992] die in jüngerer Zeit hinzugekommene „Einschweißtechnik“ für die Bürstenbesteckung als vorteilhaft gegenüber der konventionellen Metallplättchenbesteckung an. Bei diesem Besteckungssystem werden die genannten Hohlräume und Spalten zwischen den Filamenten weitestgehend durch Kunststoff ausgefüllt, wodurch man sich Verbesserungen bezüglich der Hygienefähigkeit versprach. Die Überlegenheit dieses Systems wurde bisher allerdings noch nicht bestätigt. Im Gegenteil, in einer vorausgegangenen Studie unserer Arbeitsgruppe an fabrikneuen Zahnbürsten ließ sich bei nur einmaliger Anwendung kein signifikanter Unterschied bei den Produkten mit verschiedener Bündelbesteckung belegen [WETZEL et al. 2004].

Die vorliegende Untersuchung befasste sich daher mit der Fragestellung, ob sich zwischen den Bündel-Besteckungssystemen der Metallplättchenverankerung und zweier Einschweißverfahren nach mehrwöchigem Gebrauch bei den Zahnbürsten Unterschiede hinsichtlich der Retention und Überlebensfähigkeit für Mikroorganismen ergeben.

Dafür legten wir die folgenden Arbeitshypothesen zugrunde:

1. Da es bei den Bündelerschweißverfahren nicht zu Spaltbildungen im Bürstenkörper kommt, ergeben sich hygienische Vorteile gegenüber der Metallplättchenverankerung mit deutlichen Hohlraumbildungen.
2. Bei der Technik des Einschweißens steigt der hygienische Vorteil nach mehrwöchiger Gebrauchsdauer der Zahnbürste durch fehlende Retention der Mikroorganismen in Spalten und Hohlräumen des Bürstenkörpers an.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Mikroorganismen in der Mundhöhle

In der Mundhöhle des Menschen existieren über 300 Arten von Mikroorganismen [König 1987]. Fast alle beim Menschen vorkommenden Keime kommen zumindest auch zeitweise im Mund vor [BERGER und HUMMEL 1964]. Dabei gehören die Mikroorganismen, welche stets in der Mundhöhle nachgewiesen werden, zu ihrer physiologischen Standortflora. Dazu zählen sowohl aerobe, fakultativ anaerobe und obligat anaerobe Bakterien, wie auch Pilze, Viren und Protozoen. Zur Durchgangsflora der Mundhöhle gehören hingegen die Mikroorganismen, welche sich hier nur zeitweise aufhalten. Auch normalerweise physiologische Mikroorganismen können, treten sie vermehrt auf, pathogen werden und so zur Etablierung von Karies und Parodontopathien beitragen [BUDDECKE 1981]. Eine kariöse Läsion entsteht dadurch, dass die vorhandenen Keime Säuren hervorbringen. Diese führen zur Demineralisation des Zahnschmelzes und nachfolgend auch des Dentins. Dabei sind *Streptococcus mutans* und Laktobazillen die Leitkeime des kariösen Geschehens [BANOCZY et al. 1983, DE SOET und DE GRAAFF 1999, HIRSCH 1999]. Sie sind der Standortflora der Mundhöhle zuzurechnen und bereits recht früh im Speichel anzutreffen. Nach KNEIST et al. [1998] wird das Wachstum von *Streptococcus mutans* durch die vorherige Anwesenheit von *Streptococcus sanguis* begünstigt. WETZEL et al. [1993] belegten ein erhöhtes Auftreten von *Streptococcus mutans* bereits bei Kleinkindern, welche als Folge des Nursing-Bottle-Syndroms (NBS) unter ausgeprägtem Zahnverfall litten. Laktobazillen kommen vorwiegend in Grübchen, Fissuren und Kavitäten vor, da sie sich nicht an den Zahnoberflächen festsetzen können. In diesen Lebensräumen werden sie vor dem Herauswaschen aus der Mundhöhle bewahrt und besitzen den Mutans-Streptokokken gegenüber sogar einen Vorteil hinsichtlich größerer Säuretoleranz. Sie sind dadurch imstande, sowohl in einer sauren Umgebung zu bestehen als auch noch eigenständig Milchsäure abzugeben [KNEIST et al. 1998]. Gerade bei offenen Kavitäten kommen die Laktobazillen gehäuft vor [BRÄNDLE et al. 1991]. Die Reihenfolge der Kolonisation der Zahnflächen und –gruppen durch die unterschiedlichen Keime spielt eine wichtige Rolle bezüglich der Entstehung der Karies. So werden Zusammenhänge zwischen der Besiedlung mit *Streptococcus sanguis*, *Streptococcus mutans* und Laktobazillen

beobachtet. Da *Streptococcus mutans* vor allem auf dem Zahnschmelz und kaum auf der Mundschleimhaut nachzuweisen ist [GIBBONS 1994], besteht hier ein Zusammenhang zwischen dem Wachstum dieses Keims und der Entstehung von Glattflächenkaries. Daraus wird ersichtlich, warum Mutans-Streptokokken erst deutlich später in der kindlichen Mundhöhle anzutreffen sind als die Laktobazillen [CARLSSON et al. 1975]. Meist kommt es zur Übertragung des *Streptococcus mutans* von der Mutter auf das Kind, da sie diesen Keim ihrerseits schon in sich trägt [KÖHLER et al. 1983]. Da Mutans-Streptokokken über 24 Stunden an kontaminierten Löffeln überleben können [KÖHLER und BRATTHALL 1978], erfolgt die Infektion wahrscheinlich durch die Anhaftung der Keime an dem von der Mutter mit Speichel befeuchteten Löffel [SUHONEN 1992]. Die Fähigkeit zur Anhaftung und zum Wachstum von Mutans Streptokokken auf der Zahnoberfläche wird durch das Zusammenwirken von Lektin und Glucosyltransferase ermöglicht, wodurch dann die Kohäsion der einzelnen Bakterien begünstigt wird [GIBBONS 1994]. Die Kolonisierung der Wurzeloberflächen und die Verursachung von Wurzelkaries erfolgt in erster Linie durch die Gruppe der Aktinomyzeten und hierbei bevorzugt durch *Actinomyces naeslundii*, allerdings kann daneben auch noch ein Zusammenwirken mit *Streptococcus sanguis*, *Streptococcus mutans* und Laktobazillen belegt werden [KNEIST et al. 1998]. Neben der Vielzahl von verschiedenen Bakterien in der menschlichen Mundhöhle sind häufig auch Hefepilze nachweisbar, wobei *Candida albicans* den Leitkeim dieser Mikroorganismen repräsentiert.

## 2.2 Mundhygiene

Neben regelmäßigen zahnärztlichen Kontrollen bestehen die Grundlagen der Kariesprophylaxe aus der Mundhygiene, der Ernährungslenkung, der Anwendung von Fluoriden sowie der Fissurenversiegelung. Unter diesen Faktoren spielt die effiziente Mundhygiene mit einer optimalen Plaqueentfernung eine wichtige Rolle [WANNENMACHER 1965, RIETHE 1968 und 1974, GÜLZOW 1972 und 1985]. Zu ihrer Durchführung sind vor allem geeignete Hilfsmittel notwendig. Das wichtigste dürfte dabei die zweckmäßig gestaltete Zahnbürste sein. Die Anforderungen an eine geeignete Zahnbürste für Kleinkinder wurden bereits 1985 von WETZEL definiert. Danach stellen der kleine, nach vorn abgerundete Bürstenkopf sowie die Anordnung eines planen Putzfeldes nach dem „multi-tufted“-Prinzip und der leicht abgewinkelte kompakte Handgriff geeignete Merkmale einer Kinderzahnbürste dar. Gerade dem Griff kommt eine besondere Bedeutung zu, da er entscheidend ist für die Handhabung der Bürste. Viele Kinder haben Schwierigkeiten damit, die Bürste korrekt zu fassen. Ihnen hilft es, wenn der Griff kompakt ist [WETZEL 1985, MAKUCH 1995]. Ein schmalkantiger Griff eignet sich hingegen nicht für die kindliche Anwendung. Die Länge des Borstenfeldes sollte maximal 23 mm betragen und die Borsten höchstens eine Länge von 8 bis 10 mm aufweisen [KRAMER et al. 1995]. Aufgrund der empfindlichen Gingiva im Kindesalter ist auch auf eine sorgfältige Borstenabrundung zu achten, um ein erhöhtes Verletzungspotential auszuschließen. Nach IMFELD et al. [2000] weisen Zahnbürsten mit großem Borstendurchmesser ( $\geq 0.2\text{mm}$ ), schlechter Borstenverrundung und geringem Zahnflächenkontaktvermögen immer ein höheres Gingivaverletzungspotential auf. Dabei ist nicht ein einzelner Faktor entscheidend, sondern erst die Kombination ungünstiger Eigenschaften hat Einfluß auf das Verletzungsrisiko. Vergleicht man aber zwei Bürsten mit annähernd gleichen Konstruktionsmerkmalen, so ist eine Abhängigkeit des Verletzungspotentials der Gingiva von der Borstenverrundung nicht übersehbar. Bei der Entstehung von Gingivarezessionen, aber auch von McCall-Girlanden sowie von akuten Bürstläsionen und Stillmann-Spalten gilt die Bürstkraft als Triggerfaktor, neben der auch noch als potentielle Kofaktoren die Bürstmethode, Bürstzeit, Bürstgeschwindigkeit und tägliche Bürsthäufigkeit von Bedeutung sind. Die maximale Bürstkraft wird mit 2 N angegeben. Abgesehen von einer elektrischen Zahnbürste, die die Überschreitung dieser Kraft anzeigt, erweist sich dieser Wert als klinisch irrelevant, da vom Patienten nicht um-

setzbar. Einmal täglich sollte eine möglichst vollständige und deshalb zeitintensive Plaqueentfernung erfolgen, die von einer mechanischen Speiserestentfernung nach jeder Mahlzeit begleitet wird. Auf diese Weise kommt es zum größtmöglichen Schutz vor Karies und entzündlichen Parodontopathien, außerdem wird verhindert, dass Schäden in Form von Rezessionen und Abrasionen durch zu häufiges Zähneputzen entstehen. Theoretisch könnte sogar empfohlen werden, eine intensive Plaqueentfernung nur alle 24 Stunden vorzunehmen, da erst nach diesem Zeitraum - vorherige vollständige Plaqueentfernung vorausgesetzt - die Plaquequantität und -qualität die pathogene Grenze überschritten haben. Da aber eine vollständige Plaqueentfernung im Regelfall nicht möglich ist, kann diese Aussage nur zum prinzipiellen Verständnis der komplexen Vorgänge bei der Karies- und Parodontitisentstehung herangezogen werden [KRAMER et al. 1995]. Daraus lässt sich wiederum ableiten, dass immer dann, wenn das einmalige gründliche Putzen nicht eingehalten werden kann, es besser ist, durch mehrmaliges Putzen nach dem Essen den eingeschränkten Säuberungseffekt wenigstens zu summieren [WETZEL 1995]. Die empfohlene durchschnittliche Benutzungsdauer einer Zahnbürste wird mit 1-3 Monaten angegeben. Hierbei spielen die Häufigkeit der Anwendung, die Putztechnik und das Herstellungsmaterial eine entscheidende Rolle. Sobald die Borsten beginnen sich umzubiegen, sollte eine neue Bürste verwendet werden [KRAMER et al. 1995]. Zur Verwendung von Zahnpasten lässt sich anmerken, dass laut Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) vom 27.03.2000 fluoridhaltige Kinderzahnpasten mit einem maximalen Fluoridgehalt von 500 ppm = 0,05%  $F^-$  bis zum Schulalter empfohlen werden. Diese sollten aber keinen Frucht- oder Bonbongeschmack aufweisen, da sie sonst zur einseitigen Favorsierung der Geschmacksempfindung „süß“ beitragen [WETZEL 1983]. Die pro Putzvorgang verwendete Menge im Kindesalter bis zu 6 Jahren sollte Erbsengröße nicht überschreiten, da Kinder erst mit vier Jahren befähigt sind, die Zahnpaste zum großen Teil wieder auszuspucken. In Altersdifferenzierung sollte nach Durchbruch der ersten Milchzähne einmal täglich, ab dem zweiten Geburtstag zweimal täglich geputzt werden. Ab dem Schulalter können die Zähne dann mit einer Zahnpaste mit einem Fluoridgehalt von 1000 - 1500 ppm (entspricht 0,1 - 0,15 %  $F^-$ ) gereinigt werden [GÜLZOW et al. 2002]. Die Möglichkeiten zur Durchführung einer effektiven Oralhygiene werden bei Kleinkindern sowohl durch altersentsprechende motorische als auch psychisch-mentale Entwicklungsstufen begrenzt [WETZEL 1985, MAKUCH

1994 und 1995]. OGASAWARA et al. [1992] fanden heraus, dass Kinder unter 18 Monaten noch gar nicht zum effektiven Zähneputzen befähigt seien. Erst zwischen eineinhalb und dreieinhalb Jahren lernten sie es, die Okklusalfächen der Zähne im Unterkiefer und die Labialflächen der Frontzähne zu bürsten. Ab dreieinhalb seien sie in der Lage, auch die Bukkal- und Okklusalfächen aller Milchmolaren und die Lingualflächen der Frontzähne zu erfassen. Mit viereinhalb sei es dann schließlich möglich, auch die Lingualflächen der Molaren miteinzubeziehen. Auffällig ist vor allem, dass jüngere Probanden eindeutig der kontralateralen Gebiðhälfte den Vorzug geben. Rechtshänder reinigen so bevorzugt die Zähne der linken Gesichtshälfte und Linkshänder die der rechten Gesichtshälfte [RUGG-GUNN und MAC GREGOR 1978]. Bereits 1983 hat WETZEL auf die Diskrepanz zwischen den begrenzten altersentsprechenden Möglichkeiten zur Oralhygiene im Kleinkindalter und den überfordernden, weil optimierten Zahnputzempfehlungen von Zahnbürstenherstellern für Kinder hingewiesen. Nach MAKUCH [1994] werden im Prozeß des motorischen Fertigkeitserwerbs in der Regel drei Phasen unterschieden: Der Hauptinhalt der 1. Phase ist die Vermittlung der zu erwerbenden Fähigkeit und der Erwerb ihres Grundablaufs in Grobform bzw. in Grobkoordination. Der Erfolg dieser Phase hängt vor allem davon ab, dass der Lernende vielseitig angesprochen wird. Charakteristisch für die 2. Phase ist die Verfeinerung und Differenzierung des Bewegungsablaufes und damit die Herausbildung seiner Feinkoordination. Wesentliche Voraussetzung für diesen Prozeß ist das durch Fremd- und Eigenkorrektur geförderte systematische Üben und die daraus resultierende bewegungsspezifische Erfahrung, in deren Gefolge sich zugleich auch Teilautomatismen bilden. Schließlich wird in der 3. Phase das ursprünglich vollständig bewußtseinspflichtige Handlungsprogramm automatisiert. Es ist die Fertigkeit entstanden. Sobald beim Ablauf der Fertigkeit jedoch Schwierigkeiten auftreten, wird das Handlungsprogramm wieder auf die Ebene der bewußten Widerspiegelung gehoben und die Handlung wird im Hinblick auf Ursachen der Störung in ihrem Verlauf analysiert. WETZEL beschrieb 1983 die möglichen Fortschritte zur Steigerung der Effizienz des Zähneputzens innerhalb der jeweiligen Altersphasen im Kindesalter: Bereits vor dem Durchbruch der ersten Milchzähne tritt bei den meisten Kindern zwischen dem 3. und 6. Lebensmonat (1. Phase) das Bedürfnis nach Druck-/Berührungstimulation der noch unbezahnten Kieferkämme auf. Dem Spannungsempfinden an den Stellen des bevorstehenden Zahndurchbruches kann durch Bestreichen und vorsichtiges Massieren des noch

zahnlosen Alveolarkammes mit der sauberen Zeigefingerkuppe der mütterlichen/väterlichen Hand entsprochen werden. Auf diese Weise gewöhnen sich die Kinder in angenehmer Weise an Fremdmanipulationen in der Mundhöhle. Außerdem lassen sich als zusätzliche Stimulatoren im Handel erhältliche Gummiputztrainer zur Förderung der Greif-, Beiß- und Kaufunktion des Kindes einsetzen. Das Erlernen des eigenständigen Hantierens mit diesem Putztrainer stellt für Babies eine wichtige Konditionierung für den späteren Umgang mit Zahnbürsten dar. Mit dem Handgriff und dem vorne aufgesetzten Noppenfeld werden gleich zwei Elemente zur Gewöhnung angeboten, die später in abgewandelter Form als Bürstengriff und Putzkopf auch zur Zahnbürste gehören. Der eigentliche Einstieg in die Gebißpflege während des 7. bis 12. Lebensmonats (II. Phase) kann zunächst nur passiv erfolgen. Das heißt, eine elterliche oder in anderer Weise vertraute Bezugsperson führt gelegentliche Flächenreinigungen an den jetzt durchbrechenden Schneidezähnen mittels Watterolle, Mulläppchen oder Wattestäbchen durch. Der Putztrainer kann auch weiterhin angeboten werden. Ab dem 13. bis 18. Lebensmonat (III. Phase) können zur besseren Flächenreinigung dann erste „Mini-/Babyzahnbürsten“ eingesetzt werden. Die Größe des Borstenfeldes sollte etwa 6x16 mm betragen [WETZEL et al. 1993]. Realistisch ist hierbei die Anwendung einer Kombination aus horizontalen (Kauflächen) und vertikal auswischenden Putzbewegungen (Bukkal- und Lingual-/Palatinalflächen). Dabei gilt die bekannte Regel „von Rot nach Weiß“, das heißt, die Zahnbürste wird schräg am Zahnfleischrand aufgesetzt und dann in Richtung der Kauflächen geführt. Ersatzweise oder ergänzend können auch noch Wattestäbchen verwendet werden. Etwa zwischen dem 19. bis 24. Lebensmonat (IV. Phase) erfolgt dann die langsame Gewöhnung an die aktive Gebißpflege, wozu es der Umstellung auf eine „Kinderzahnbürste“ mit kompaktem Handgriff und vorne abgerundetem Handgriff bedarf. Das Borstenfeld sollte maximal 8x23 mm groß und nach dem „Multi-tufted Prinzip“ ausgeführt sein [WETZEL 1995]. Die Greifhand des Kindes kann in dieser Altersphase Werkzeuge im Faustgriff oder Pinzettengriff (Daumen/Zeigefinger) führen. Die eigentliche Gebißpflege erfolgt noch überwiegend passiv durch elterliche Bürstenführung, das Kind darf aber zwanglos vor- und/oder nachputzen. Die bereits vorhandenen oder gerade durchgebrochenen Molaren und Eckzähne werden auch bei elterlicher Bürstenführung am besten durch vertikale Abroll-/Auswischbewegungen erreicht [WETZEL 1985] und die Kauflächen der Milchmolaren am einfachsten durch horizontales „Schrubben“ erfaßt. Bei der elterli-

chen Bürstenführung sollte der Mund des Kindes nur mäßig geöffnet sein. Andernfalls bereitet das Wegziehen/Abdrücken der Wange – bei gestrafftem Lippenrot – dem Kind Schmerzen. Erst im Alter von 2 bis 3 Jahren (V. Phase) vollzieht sich dann systematisch die korrigierende Einübung des eigenständigen Zähneputzens. Als Lernziele gelten neben der horizontalen und vertikalen Bürstenführung auch die gründliche Miterfassung der kollateralen Gebißhälfte (beim Rechtshänder die rechte und beim Linkshänder die linke Seite). Bei guter Vorübung werden in der Altersphase von 3 bis 5 Jahren (VI. Phase) sowohl die Zähne der kontra- als auch der kollateralen Gesichtshälfte bei dem nun vorliegenden feinmotorischen Entwicklungsstand vom Kind gut erfasst. Zur Vorbereitung späterer Rüttel und Rotationstechniken können derartige Putzabläufe bereits im Frontzahnbereich vortrainiert und später auch auf die Zähne in den Seitenzahnbereichen erweitert werden. Die Handmotorik ist soweit entwickelt, dass auch schmalgriffige Bürsten Verwendung finden könnten, wenngleich die Kinder weiterhin die Verwendung der Zahnbürsten mit kompaktem Handgriff favorisieren. Erst in dieser Phase entwickelt sich die reife Handfunktion. Dabei ist als Ausdruck dieses Reifungsprozesses der „Dynamische Dreifuß“ [SCHEITHAUER 1973] anzusehen. Erst seine Beherrschung ermöglicht es, dass Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger – ähnlich wie bei der Führung eines Schreibgerätes – subtile Bewegungen ausführen können. Ab dem Alter von 6 Jahren (VII. Phase) sind Kinder schließlich in der Lage, alle empfohlenen Bürsttechniken zu erlernen. Bis dahin bietet sich die KAI-Technik [REIHLEN 1990] an, bei der die Kauflächen durch Schrubbewegungen, die Aussenflächen im Schlussbiss durch Rotationsbewegungen und die Innenflächen durch die Auswischtechnik gesäubert werden. An dieser Stelle muß deutlich werden, dass Oralhygiene allein in dieser Altersphase nicht ausreichend vor Karies und Gingivitis schützen kann. Es kommt vielmehr darauf an, dass neben der Gebißpflege auch die anderen tragenden Säulen der Kariesprophylaxe wie die zahngesunde vollwertige Ernährung, der regelmässige Zahnarztbesuch mit der Möglichkeit zur Fissurenversiegelung im Seitenzahnbereich und die Resistenzsteigerung des Zahnschmelzes gegen Kariessäuren durch Fluoridierungsmaßnahmen ebenfalls in Anspruch genommen werden [WETZEL 1995]. Die Notwendigkeit dieser Maßnahmen wird in mehreren Studien deutlich: so fand MAKUCH [1995] heraus, dass weniger als die Hälfte der untersuchten jüngeren Vorschulkinder in der Lage waren, die Kauflächen ihrer Zähne hinreichend zu säubern. Eine ausreichende Mundöffnung und damit effizientere Reinigung besagter



Kauflächen war erst bei den älteren Vorschulkindern zu erkennen. PINE et al. [2000] zeigten an fünfjährigen Patienten den Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der täglichen Mundhygiene und dem Vorhandensein von Karies an den Sechsjahres-Molaren auf. Die Probanden, welche mindestens zweimal täglich Mundhygiene betrieben, zeigten signifikant weniger Karies an den untersuchten Zähnen und waren sogar zu 79 % ganz ohne Karies. Dagegen waren die Patienten, welche maximal einmal am Tag die Zähne putzten, nur zu 49 % ohne Karies. Eine weitere Untersuchung konnte nachweisen, dass die Probanden ohne Kontrolle längst nicht alle vorhandenen Flächen der Zähne reinigten [RUGG-GUNN und MAC GREGOR 1978]. So säuberten die 5-jährigen lediglich 25 %, die 11-jährigen 50 % und die 18-22-jährigen immerhin 67 % aller Flächen. Hinzu kam noch, dass die älteste Gruppe auch die schwieriger zu erreichenden Zahnflächen besser reinigte als die übrigen Gruppen.

Bleibt zu ergänzen, dass die kindlichen Bemühungen um optimale Mundhygiene durch zwei weitere Hilfsmittel unterstützt werden können. Zum einen ist es mit Eintritt in die zweite Wechselgebissperiode die zusätzliche Anwendung von Zahnseide, um auch die Approximalbereiche besser von Plaque zu befreien, zum anderen bietet sich für jüngere Kinder auch die Verwendung einer elektrischen Zahnbürste an. In der Studie von PETZOLD und FINKE [2001] wurde diese in der Altersgruppe von 2-6 Jahren sogar besser akzeptiert als die konventionelle Handzahnbürste. Wobei allerdings zu bedenken ist, dass bei der elektrischen Apparatur der Übung der feinmotorischen Koordination des eigenhändigen Putzens zuwenig Bedeutung zukommen könnte [WETZEL 1995]. Da außerdem noch Langzeiterfahrungen fehlen, ist nach wie vor die Fähigkeit zur sicheren manuellen Bürstenführung anzustreben [KIELBASSA und REISTER 2001]. Ein weiteres Problem ist die durch elektrische Zahnbürsten verursachte Bakteriämie im Blut. So fanden MISRA et al. [2007] heraus, dass nach Gebrauch einer elektrischen Zahnbürste die Keimzahl im Blut im Vergleich zur Handzahnbürste signifikant ( $p < 0,025$ ) erhöht war. Diese Tatsache ist zumindest bei Kindern mit Herzerkrankungen im Rahmen der Endokarditisprophylaxe zu bedenken.

## 2.3 Geschichte der Zahnbürste

Die Anfänge der aktiv durchgeführten Mundhygiene gehen schon sehr lange Zeit zurück. Bei den Hindus erfolgten Zahnreinigungen schon um 4000 v. Chr.. Dafür wurden Zahnstocher aus Myrten- oder Lindenholz hergestellt und verwendet. Im Laufe der weiteren Entwicklung wurden dann auch mehrere Holzfasern gebündelt und mit Griffen versehen, um damit die Zähne zu säubern [HARTLMAIER 1954]. Auch in afrikanischen Regionen benutzte man schon um 3500 v. Chr. einen Miswak zur Mundhygiene, der aus Wurzelholz angefertigt wurde und sogar antibakterielle Eigenschaften aufwies. Dazu wurden die Wurzelenden bürstenähnlich aufgefäsert. Im Jahre 1498 wurde dann in der chinesischen Literatur eine Zahnbürstenkonstruktion beschrieben, die in der Form eines Pinsels ausgeführt war. Der erste plattenförmige Borstenträger wird 1609 ebenfalls in China erwähnt. Erst 1749 wurde schließlich auch in der europäischen Literatur eine Zahnbürste beschrieben, welche in ihrer Gestalt schon den heutigen Bürsten ähnelte. In England fertigte man um 1780 Zahnbürsten an, bei denen Tierhaare mit Drahtligaturen an Holzgriffen verankert wurden [McCAULEY 1946]. Eine weitere Möglichkeit bestand darin, die pflanzlichen oder tierischen Borsten mittels zäher Pflanzenfasern an dem Holzgriff zu befestigen. In der Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die Borsten dann durch eine mit Löchern versehene Schablone gerüttelt und mit Hilfe von Knetmasse in das Besteckungsfeld eingebracht [BOCK 1983]. Desweiteren ließen sich die Borsten auch mit Leim oder Pech an dem Griff befestigen [PRIEHN-KÜPPER 1998]. Im Jahre 1867 wurden dann Versuche unternommen, die Borsten mit Hilfe von Drahtschlingen im Stiel zu verankern. Der Franzose J. V. Gane erhielt schließlich im Jahre 1877 das erste Patent für eine Bündelstanz-Besteckung mit Hilfe von Metallplättchen [BOCK 1983]. Ursprünglich wurden die Zahnbürsten wohl nur dazu verwendet, zusammen mit Poliersubstanz die Zähne weiß und glänzend zu putzen. Die damals gebräuchlichen Exemplare mit ihrem großem und langem Borstenfeld, das meist gerade oder leicht konkav geschnitten war, waren dafür auch durchaus geeignet. Als Borstenmaterial wurden Pferdehaare verwendet, später dann auch Schweineborsten sowie Dachs- oder Ziegenhaar [SAUERWEIN 1962]. Im Jahre 1728 erwähnte auch FAUCHARD die Zahnbürste [FAUCHARD 1728], allerdings riet er von Bürsten aus Pferdehaar ab und empfahl stattdessen die Verwendung eines Zahnstochers [HARTLMAIER 1954]. Die Einführung synthetischer Borsten im Jahre 1938

stellte zuletzt einen wesentlichen Fortschritt in der Entwicklung hygienischer und zweckmäßiger Zahnbürsten dar [ZUHRT 1959, SAUERWEIN 1962]. Die vorher verwendeten Tierhaare wiesen im Innern einen zentralen Markkanal auf, auch waren ihre Borsten im Durchmesser sehr variabel und erlaubten keine akzeptable Endabrundung. Der häufig mehrkammrige Markkanal förderte zudem die Retention von Nahrungsbestandteilen und Mikroorganismen, außerdem begünstigte die Hydrophilie der organischen Borstensubstanz das Aufquellen und Spleissen der Borsten [LEIMGRUBER 1951, RIETHE und MUNZ 1979].

## 2.4 Die mikrobielle Besiedelung der Zahnbürste

Während der Durchführung der Mundhygiene kommt die Zahnbürste unweigerlich in Kontakt mit verschiedenen Keimen der Mundhöhle. Der Nachweis dieser Mikroorganismen und auch ihre Überlebensdauer auf der Zahnbürste waren Gegenstand verschiedener vorangegangener Studien. Vor allem sollte untersucht werden, ob die Mikroorganismen die Zeit zwischen zwei Anwendungen der Zahnbürste lebend überstehen können. So wurden Zahnbürsten als Ursache für Reinfektionen bei therapieresistenten Gingivitiden identifiziert, nachdem es NOGA et al. [1976] gelungen war, an 48,6 Prozent der von ihnen überprüften Bürsten vermehrungsfähige *Candida* spezies nachzuweisen. Auch MARCANO [1981] stellte die Zahnbürste als Erregerreservoir und somit als Quelle für Reinfektionen dar. Er analysierte die Bürsten von 57 Probanden, welche mit *Candida albicans* infiziert waren. Bei immerhin 58 Prozent der Personen konnte die Anwesenheit dieses Pilzes auf den Bürsten bestätigt werden. Neben Hefen wurden in anderen Studien sowohl Streptokokken und Staphylokokken als auch Pneumokokken, Stäbchen und anaerobe Keime auf benutzten Zahnbürsten gefunden [ZUHRT 1959, SVANBERG 1978, NETUSCHIL et al. 1981, BUCHMANN 1986, GLASS und LARE 1986, TAJI und ROGERS 1998]. Im Rahmen einer Untersuchung in Kindertagesstätten konnten MALMBERG et al. [1994] aus 40 von insgesamt 44 untersuchten Zahnbürsten Streptokokken isolieren. Es handelte sich dabei hauptsächlich um *Streptococcus salivarius*, *Streptococcus sanguis* und *Streptococcus mitis*. Weiterhin enthielt das untersuchte Material zu 41 Prozent Laktobazillen. Staphylokokken wie *Staphylococcus epidermidis* und *Staphylococcus aureus* konnten noch auf 38 Prozent der Zahnbürsten nachgewiesen werden. Der Anteil an *Candida* spezies betrug letztlich 32 Prozent [MALMBERG et al. 1994].

Die Trocknungszeit der Zahnbürste bis zum nächsten Einsatz wird als ein entscheidender Faktor hinsichtlich der Überlebensfähigkeit der verschiedenen Keime angesehen. So ist das Herpes-simplex-Virus in der Lage, 48 Stunden hinweg auf einer Zahnbürste zu überdauern [GLASS und JENSEN 1989]. Nach einer Trocknungszeit von 24 Stunden konnte SVANBERG [1978] noch *Streptococcus mutans* von benutzten Bürsten isolieren, allerdings war nur noch 1 Prozent der ursprünglichen Menge vorhanden. Wenn die Probanden über eine *Streptococcus mutans*-Konzentration von mehr als  $10^6$  KBE / ml Speichel verfügten, gelang sogar ein Keimnachweis am

Auslass der Zahnpastentube. MÜLLER et al. [1989] führten eine Untersuchung durch, in der die Probanden den Keim *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in ihrer Mundhöhle trugen. Die benutzten Zahnbürsten wurden direkt nach Gebrauch überprüft. Als Ergebnis ließ sich feststellen, dass auf 62 Prozent der Zahnbürsten ein positiver Keimnachweis möglich war. Neben den bereits genannten Mikroorganismen der Mundhöhle, welche vornehmlich orale Infekte verursachen, wurden auf den Zahnbürsten aber auch pathogene und opportunistische Keime gefunden, welche mit Systemerkrankungen im Zusammenhang stehen [GLASS und LARE 1986]. Das Spektrum der pathogenen Keime, das hier angeführt werden kann, ist recht umfangreich und erstreckt sich von Herpes- über Influenza-, bis hin zu Hepatitis B-Viren [KOZAI et al. 1989].

Fakultativ pathogene Keime der Mundhöhle können sowohl durch mechanisch verursachte Verletzungen der Mundschleimhaut als auch durch kontaminierte Mundhygienehilfsmittel zu einer Kolonisierung und Infektion des Mund-Rachen-Raumes führen [HINGST 1989]. Sogar bei unauffälliger Gingiva kann schon das Zähneputzen Ursache einer Bakteriämie im Blut sein. Dieser Nachweis gelang SILVER et al. [1979] bei immerhin 8,33% ihrer Probanden. Im Gegensatz dazu steht die Studie von SCONYERS et al. [1979], wo sich bei den Patienten keine Anzeichen einer Bakteriämie fanden. CAUDRY et al. [1995] beschrieben in ihrer Untersuchung, dass die Anwender von Zahnbürsten meist keine Kenntnisse über die davon ausgehende Gefahr der Kontamination hätten. GOLDING [1982] identifizierte zahlreiche Mikroorganismen an Speiseresten, welche sich noch der Basis des Zahnbürstenkopfes befanden. Es waren hier sowohl pathogene Keime als auch solche der physiologischen Mundflora anzutreffen. Am Bürstenkopf wurde der Bereich der Borstenbefestigung mit dem unteren Borstenanteil vorrangig mikrobiell besiedelt, wobei sich noch eine Zunahme zur Borstenfeldmitte hin erkennen ließ [GLASS 1992]. Als diesbezüglich pathogene Keime können sich *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* und Herpes simplex-Virus sowohl am Bürstenkopf als auch an den Borsten anhaften. Hier kann es dann unter günstigen Voraussetzungen sogar zu einer Keimvermehrung auf dem Borstenfeld kommen. Gerade die früher verwendeten Zahnbürsten mit Naturborsten boten in feuchter Umgebung geeignete Bedingungen für die nach der Zahnreinigung zurückgebliebenen Keime [ZUHRT 1959]. Auch bei den heute gebräuchlichen Verankerungsverfahren wie der Bündel-Stanzbesteckung und dem Bündel-Einschweißverfahren können Hohlräume und Unebenheiten sowie Kunst-

stoffreste auf dem Besteckungsfeld zurückbleiben, wodurch auch letzteres zur Schwachstelle hinsichtlich der Keimbesiedlung wird. Eine gewisse Reduktion der anhaftenden Keime lässt sich jedoch durch die trockene Aufbewahrung der Zahnbürste erreichen, allerdings stellt auch diese Maßnahme keine sichere Elimination aller Mikroorganismen dar. Insofern kann es nach überstandenen Infekten des Mundraumes durchaus zu Reinfektionen kommen. Trotzdem muss die Anwesenheit eines potentiell pathogenen Keimes keinesfalls immer den Ausbruch einer spezifischen Krankheit bedeuten [MALMBERG et al.1994, TAJI und ROGERS 1998, BÖSSMANN 2001].

## **2.5 Verankerung der Borsten**

### **2.5.1 Historische Verfahren zur Borstenverankerung**

Schon seit längerem werden zur Zahnbürstenherstellung Borsten in einem Bürstenkörper befestigt. Der Ursprung des heutzutage immer noch gängigen Bündelstanz-Verfahrens mit Metallplättchen liegt in der Borstenverankerung durch Drahtschlingen, welche in das Besteckungsareal eingestanz wurden. Diese Technologie wurde 1867 von J. Sheldon in England zum Patent angemeldet. Das Einbringen der Drahtschlingen erfolgte damals noch manuell. Die Festigkeit dieser Verbindung war jedoch noch unbefriedigend, da sich die U-förmigen Ösen mit den Borstenbündeln wieder leicht aus dem Trägermaterial herausziehen ließen [BOCK 1983]. Eine beständigere Verankerung der Büschel ließ sich J. V. Gane im Jahre 1877 in Frankreich patentieren. Die Borsten wurden jetzt mit Hilfe einer Stopfvorrichtung und gezackten Spreizankern eingebracht, welche aus Flachdraht hergestellt wurden. Dadurch wurde ein leichtes Ausreißen der Büschel vermieden. Die hierzu verwendete Apparatur wurde als "Stopfmaschine mit horizontal liegendem Stopfwerkzeug und Ketten-Bündelabteilung" bezeichnet und kam in Europa über Jahrzehnte hinweg zum Einsatz. Entsprechende Vorrichtungen zur Produktion von Zahnbürsten wurden in Deutschland erstmals in den achtziger und neunziger Jahren des 19. Jahrhunderts patentiert [BOCK 1983].

### 2.5.2 Metallplättchenverankerung/ Bündel-Stanzbesteckung

Die sogenannte Bündel-Stanzbesteckung stellt das älteste heute noch gebräuchliche Verankerungsprinzip dar. Dabei werden aus den Einzelborsten Bündel gebildet und diese dann mit Hilfe von Metallplättchen im Besteckungsfeld der Bürste verkeilt. (Abb. 1).

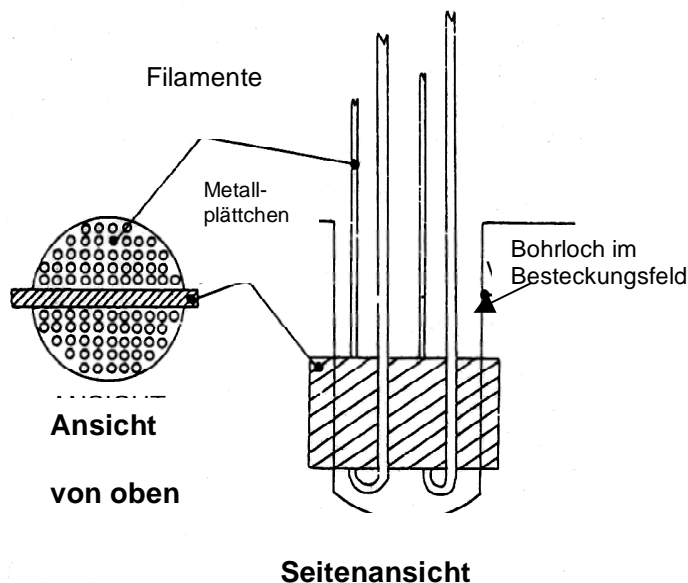


Abb. 1 Prinzip der Metallplättchenverankerung (schematische Darstellung)

Die Produktion der Zahnbürste erfolgt in zwei Phasen. Im ersten Herstellungsabschnitt werden die Borsten im Bürstenkopf befestigt. Dazu werden auf dem Besteckungsareal mehrere Reihen von Bohrlochern angelegt und jeweils eine gewisse Anzahl einzelner Borsten zu einem Bündel zusammengefasst und als Schlaufe um ein Metallplättchen gelegt. Dieses lässt sich dann in das Bohrloch einbringen und mit dem Metallplättchen, das in einer zentralen Kerbe geführt wird, fest im Bürstenkopf verkeilen. Da das Metallplättchen bei der späteren Bürstennutzung mit Wasser, Speichel und auch Zahnpaste in Berührung kommt, wird es aus einer rostfreien Nickel-Kupfer Legierung hergestellt. Davor kam stattdessen eine Messing-Legierung zum Einsatz, welche sich aber als nicht korrosionsfrei erwies. Im zweiten Herstellungsabschnitt wird das Relief des Borstenfeldes festgelegt, das sowohl plan als auch konkav sein kann [GOLDING 1982]. Außerdem erfolgen die Endbearbeitung und Abrundung der Borstenenden. Bei der dargestellten Konstruktionsweise bleiben



zwangsläufig Hohlräume und Spalten im Bürstenkopf bestehen [MÜLLER et al. 1992].

### 2.5.3 Bündel-Einspritzbesteckung

Dieses Besteckungsprinzip zeichnet sich dadurch aus, dass die Borstenbündel mit fließendem Kunststoff hohlraumfrei im Besteckungsfeld fixiert werden. Das Patent stammt vom 30. Juni 1922 und wurde seinerzeit unter der Nummer 355645 am Berliner Reichspatentamt in Deutschland eingetragen [PATENTSCHRIFT 1989]. Nachfolgende Modifikationen konnten die Produktionsdauer der Zahnbürsten noch weiter verkürzen [PATENTSCHRIFT 1942, PATENTSCHRIFT 1962]. Die in der vorliegenden Studie untersuchten Zahnbürsten dieses Verankerungssystems wurden unter den Nummern EP 0 346 646 B2 und EP 0 759 711 B1 [PATENTSCHRIFT 1989, PATENTSCHRIFT 1995] beim Europäischen Patentamt in München erfasst. Bei der Herstellung werden die Borsten zu Bündeln zusammengefügt und am befestigungsseitigen Ende auf eine Länge gebracht. Die Bündel werden sodann in das vorher angelegte Bohrloch eingebracht und schließlich mit flüssigem Kunststoff umspritzt. Bei dem Vorgang werden die Borstenenden ebenfalls angeschmolzen, wodurch nach der Abkühlung ein fester Verbund entsteht, was dem Herausziehen einzelner Filamente entgegengewirkt. (Abb. 2). Dieses Verfahren erlaubt nicht nur die Verwendung von gleichen Materialien, sondern gewährleistet auch den Verbund verschiedener Thermoplaste [POTENTE und GABLER 1980].

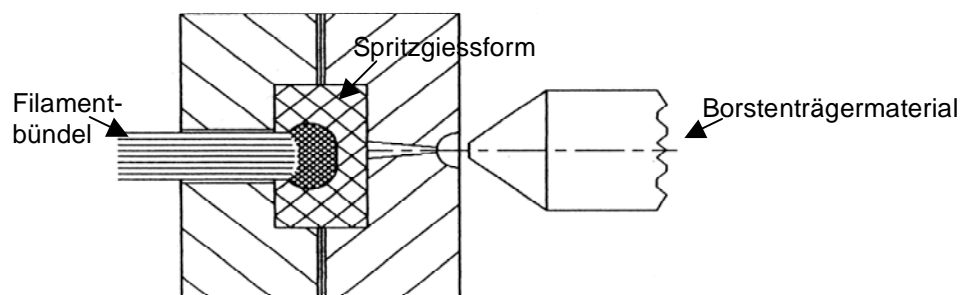


Abb. 2 Prinzip des Bündel-Einspritzverfahrens (schematische Darstellung)

#### 2.5.4 Bündel-Einfügesteckung

Dieses Besteckungsprinzip stellt eine technische Variante des Bündel-Einspritzverfahrens dar und bietet somit ebenfalls eine hohlraumfreie Einarbeitung der Borstenbündel im Besteckungsfeld. Der Unterschied besteht darin, dass die Bündel vor dem Einbringen an der Basis mit Kunststoff ummantelt werden. Parallel dazu wird der Basiskunststoff der Bürste erhitzt und dadurch in einen plastischen Zustand überführt. Danach erfolgt dann das Einbringen der ummantelten Bündel in die Bohrlöcher (Abb. 3). Nach dem Erkalten stellt sich auch hier ein fester Verbund der Materialien ein. Die Patentierung des Verfahrens erfolgte 1984 unter der Nummer ED 3403341 beim Bundespatentamt München [PATENTSCHRIFT 1984].

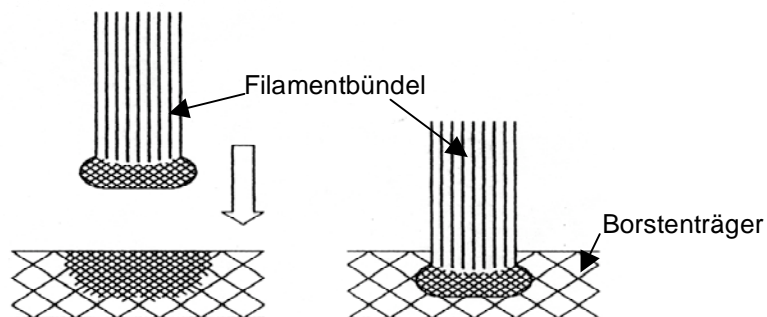


Abb. 3 Prinzip des Bündel-Einfügesteckverfahrens (schematische Darstellung)

### 3 Material und Methode

In der vorliegenden Studie wurde die Retention der kariesspezifischen Mikroorganismen *Streptococcus mutans*, Laktobazillen und *Candida* spezie an Zahnbürsten mit verschiedenen Besteckungssystemen nach mehrwöchiger Benutzung durch Patienten ermittelt.

#### 3.1 Bürsten- und Besteckungsmerkmale

Die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgten an 70 Zahnbürsten, welche über verschiedene Borstenbesteckungssysteme verfügten. Es kamen insgesamt vier Produkte zum Einsatz, wobei von den Erwachsenenzahnbürsten jeweils 20 Exemplare und von den Kinderzahnbürsten jeweils 15 Exemplare untersucht wurden. Außerdem wurden von jedem Produkt 10 Bürsten zur Analyse des Besteckungssystems herangezogen. Folgende Bürsten kamen zur Anwendung:

- Produkt A = Bürste mit Bündel-Stanzbesteckung (Erwachsenenzahnbürste)
- Produkt B = Bürste mit Bündel-Einspritzbesteckung (Erwachsenenzahnbürste)
- Produkt C = Bürste mit Bündel-Stanzbesteckung (Kinderzahnbürste)
- Produkt D = Bürste mit Bündel-Einfügebesteckung (Kinderzahnbürste)

Alle Bürsten wurden von einem Zahnbürstenhersteller (Firma Coronet mbH, Wald-Michelbach/Deutschland) zur Verfügung gestellt. Die jeweiligen Produktnamen wurden dabei bewusst außer Acht gelassen.

Die Besteckung aller Zahnbürsten entsprach dem multi-tufted Prinzip. Die Übergabe der Produkte erfolgte vor der Studie in Originalverpackung und fabrikneu. Dem Hersteller waren alle Informationen über Verfahrensweise und Ausmaß der Untersuchungen bekannt. Soweit es sich um identische Zahnbürstenprodukte handelte, wurden die nachfolgenden fotografischen und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen gemeinsam und zu gleichem Anteil mit C. Förster [24] erstellt und den mikrobiologischen Untersuchungen beider Studien vorangestellt.

### **3.1.1 Fotografische Untersuchungen**

Die Dokumentation von Art und Aussehen der Bürsten erfolgte anhand von fotografischen Großaufnahmen. Dazu kam eine Fotokamera (Leicaflex-SL mit aufgesetztem Objektiv Summicron – R 90 mm und Vorsatzlinsen ELPRO 3, ELPRO VII a) zur Anwendung, welche mit einem Kunstlichtfilm (Kodak Kodachrome 100) ausgerüstet war.

### **3.1.2 Makrofotografische Untersuchungen**

#### **3.1.2.1 Probenvorbereitung**

Mittels einer wassergekühlten Diamantscheibe wurden von fünf Exemplaren jedes Produktes die Borstenköpfe abgesetzt. Daraus fertigten wir dann jeweils drei Quer- und drei Längsschnittpräparate an, wobei sich die Schnittflächen genau zwischen den Borstenbüscheln und dem Trägerkunststoff entlangzogen. Die Abschlusssäuberung der Schnittflächen und die Darstellung des Besteckungsprinzips wurden unter Anwendung ebener, wassergekühlter Sandpapierscheiben (Körnung 500 und 4000) durchgeführt.

#### **3.1.2.2 Makrofotografische Darstellung**

Zur makrofotografischen Darstellung der Besteckungsprinzipien kam ein Auflichtmikroskop (Orthoplan, Firma Leitz, Wetzlar/ Deutschland) mit einer vorgeschalteten Fotokamera (Orthomat) und einem Kunstlichtfilm (Kodak Ektachrome 320 T) zum Einsatz. Dabei wurden unterschiedliche Vergrößerungen verwendet, um die Besonderheiten der Systeme eindeutig veranschaulichen zu können.

### **3.1.3 Rasterelektronenmikroskopische- Untersuchungen (REM)**

Die Beschaffenheit der Borstenoberflächen und deren Befestigung im Zahnbürstenkunststoff lässt sich am deutlichsten mit dem Rasterelektronenmikroskop betrachten. Hierbei kam es vor allem auf die, verglichen mit dem Lichtmikroskop, 300-fach höhere Tiefenschärfe an [OHNSORGE und HOLM 1973] und weniger auf die bessere Auflösung.

#### **3.1.3.1 Probenvorbereitung**

Jeweils fünf Bürstenköpfe der verschiedenen Produkte wurden unter Verwendung einer wassergekühlten Diamantscheibe von den Bürstengriffen abgesetzt und zur weiteren Untersuchung vorbereitet. Dazu erfolgte eine fünfminütige Entfettung und Säuberung in einem Ultraschallbad mit 70%-igem Alkohol. Die Bürstenköpfe wurden getrocknet und anschließend mittels Leit C (Neubauer Chemikalien, Münster/ Deutschland) auf einem Probenträger fixiert.

Um die Sekundärelektronenausbeute zu vergrößern und um Aufladungen zu verhindern, mussten die Testexemplare anschließend mit einer dünnen Goldschicht umhüllt werden, welche eine elektrische Leitfähigkeit bewirkt. Dazu wurde die Technik des Sputterns verwendet (Sputteranlage SCD = Balzers UNION/ Liechtenstein). Während des Sputterns rotierten die Bürstenköpfe fünf Minuten lang (4,5 U/min), um auf der gesamten Oberfläche eine gleichmäßige lückenlose Goldschicht zu erzielen. Am Ende dieser Behandlung betrug die Dicke der Goldschicht ca. 100-150 nm. Nach dieser Vorbereitung der Bürstenköpfe konnte dann die REM-Untersuchung erfolgen [ALTHAUS et al. 1990, MÜLLER et al. 1992, JUNG 1995].

#### **3.1.3.2 REM- Darstellung**

Die Durchführung der REM-Untersuchungen erfolgte mittels eines Rasterelektronenmikroskopes der Firma Philips (PSEM 500, Eindhoven/ Niederlande). Die Betriebsspannung lag bei 25 kV, wobei eine geringere Betriebsspannung die Auflösung verschlechtern würde. Eine höhere Betriebsspannung hingegen führt vermehrt

zu Aufladungen [REIMER und PFEFFERKORN 1977]. Um eine optimale Tiefenschärfe zu erreichen, wurde die kleinste Blende (100) verwendet und dabei die Werte der Justierung aufgezeichnet. Die fotografische Darstellung der REM-Aufnahmen erfolgte mit Filmen der Marke Kodak Tmax 100. Die Besteckungsareale der Zahnbürsten mussten dann möglichst aus der gleichen Richtung fotografiert werden, um vergleichbare Abbildungen zu erhalten. Für die Übersichtsaufnahmen wurden jeweils fünf Muster der verschiedenen Zahnbürstenprodukte in seitlicher Richtung dargestellt, wobei die Borsten diagonal zur Borstenlängsachse abgebildet wurden. Diese Art der Projektion erlaubte auch eine optimale Aufsicht auf die Enden der einzelnen Borsten. Dabei wurden die Einzelfilamente der Borstenbündel bei mittlerer und hoher Auflösung untersucht und in Großaufnahmen dargestellt. Um die Aufnahmen im Rahmen der nachfolgenden Untersuchung miteinander vergleichen zu können, wurden die Vergrößerungen bei allen Bürstentypen gleich gewählt. Die Befestigungsstellen der Borstenbündel im Bürstenkopf wurden ebenfalls in diagonalen Richtung zur Borstenlängsachse dargestellt, wobei allerdings nur eine Abbildung der Bündel der äußeren Reihen möglich war. Hierfür wurden spezifische Bereiche der Besteckungssysteme ausgesucht.

## **3.2 Klinische Anwendung der Zahnbürsten**

Die klinische Testung der Zahnbürsten erfolgte mit Unterstützung von Patienten der Poliklinik für Kinderzahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und in Kooperation mit dem Institut für Medizinische Mikrobiologie der Justus-Liebig-Universität Gießen.

### **3.2.1 Vorversuch**

Bevor die klinischen Untersuchungen beginnen konnten, musste ein geeignetes Verfahren entwickelt werden, um möglichst viele vermehrungsfähige Mikroorganismen aus den Zahnbürstenköpfen zu gewinnen. Dazu erfolgten in vitro-Vorversuche, um Bakterien- und Candida-Einheiten auf mechanischem und chemischem Wege

aus den einmal verwendeten Zahnbürsten zu isolieren. Es wurden fünf verschiedene Lösungen zur chemischen Keimgewinnung in Erwägung gezogen:

1. 0,1% Natriumdesoxycholat in 0,9% Natriumchlorid
2. 0,1% Dodecylsulfat-Na-Salz in 0,9% Natriumchlorid
3. 0,2% Triton-X-100 in 1 M Natriumchlorid
4. 0,2% Triton-X-100 in 0,9% Natriumchlorid
5. Sputasol (Oxoid, Basingstoke/ England): 0,1 g Dithiothreitol; 0,78 g Natriumchlorid; 0,02 g Kaliumchlorid; 0,112 g Dinatriumhydrogenphosphat; 0,02 g Kaliumhydrogenphosphat

Für die Keimgewinnung auf mechanischem Wege kamen folgende Geräte in Betracht:

1. Rüttler (Köttermann, Uetze-Hänigsen/ Deutschland)
2. Vortex Genie 2 (Scientific Industries, New York/ USA)
3. Ultraschallgerät (Bandelin Sonorex, Berlin/ Deutschland)

Die größte Anzahl von Keimen ließ sich schließlich durch die Kombination von Ultraschallgerät und Sputasol-Lösung aus den Bürstenköpfen herauslösen.

### **3.2.2 Zahnputzstudie**

Alle Kinder bekamen unabhängig von der Studie Mundhygieneinstruktionen. Die ermittelten Daten der Patienten wurden auf einem dafür verfassten Befundbogen protokolliert (Anhang). Um die gesetzlichen Bestimmungen des individuellen Datenschutzes zu gewährleisten, wurde jedem Kind eine fortlaufende Erfassungsnummer zugeordnet. Dadurch konnte die Datenauswertung später anonym erfolgen.

#### **3.2.2.1 Patienten und Zahnputzmaßnahmen**

Die Untersuchungen erfolgten mit 70 Kindern im Alter von 3-14 Jahren, welche kariesgeschädigte Gebisse aufwiesen. Die Ermittlung der Plaqueindices fand mit Ein-

willigung der Eltern im Rahmen der Mundhygienedemonstrationen statt. Dafür erhielten die Jungen und Mädchen jeweils eine fabrikneue Zahnbürste. Die Zuordnung verlief folgendermaßen:

- Gruppe I (20 Patienten,  $\geq 6$  Jahre): Putzversuch mit der Bürste A
- Gruppe II (20 Patienten,  $\geq 6$  Jahre): Putzversuch mit der Bürste B
- Gruppe III (15 Patienten,  $< 6$  Jahre): Putzversuch mit der Bürste C
- Gruppe IV (15 Patienten,  $< 6$  Jahre): Putzversuch mit der Bürste D

Die Putzinstruktionen erfolgten standardisiert durch zahnärztliche Behandler.

Den Patienten der Gruppen I und II wurde die Bass-Technik [CREWS et al. 1995] und den Kindern der Gruppen III und IV die KAI-Technik [REIHLEN 1990] vermittelt. Dafür verwendeten die Kinder eine erbsgroße Menge fluoridhaltiger Kinderzahnpaste über eine Dauer von drei Minuten. Danach erhielten die Patienten die Zahnbürste für den häuslichen Gebrauch und mit der Auflage, diese nach zweiwöchiger Verwendungsdauer wieder an uns auszuhändigen. Nach Rückgabe wurden die Bürsten in jeweils 50 ml Wasser ausgewaschen, wobei sie fünfmal im Uhrzeigersinn und fünfmal im Gegenuhrzeigersinn per Hand rotiert wurden. Hieran schlossen sich dann die Keimbestimmungen an.

### **3.2.2.2 Kariesdiagnostik**

Die kariesdiagnostischen Untersuchungen der Kinder erfolgten bei der klinischen Erstaufnahme der Patienten und unabhängig von dieser Studie gemäß den allgemeinen Grundsätzen für eine internationale Normung der Kariesstatistiken [BAUME 1962].

Dazu wird aus dem Quotienten, welcher aus der Summe der kariösen (decayed = D), fehlenden (missing = M) und gefüllten bzw. überkronten (filled = F) Zähne und der Gesamtzahl der bewerteten Zähne pro Patient gebildet wird, der DMF-Index für bleibende Gebisse bestimmt. Die Weisheitszähne werden nicht mit einbezogen. Analog dazu wird der dmf-Index für Milchgebisse errechnet. Oftmals wird nur der DMT/dmf-Gesamtwert gebildet, welcher sich aus der Summe der D/d-, M/m- und F/f-Einzelwerte zusammensetzt.



Eine weitere Differenzierung besteht darin, dass sich die DMF/dmf-Gesamtwerte sowohl auf die Anzahl der beurteilten Zahnflächen als auch auf die Anzahl der beurteilten Zähne beziehen können. Dazu werden dann die Bezeichnungen DMF(S)/dmf(s) (S/s = surface) oder DMF(T)/dmf(t) (T/t = teeth) verwendet. In dieser Untersuchung fanden ausschließlich die DMF(T)/dmf(t)-Werte Verwendung, das heisst, die Beurteilung bezog sich auf Gesamtzahl der Zähne.

### **Bewertungskriterien**

Die Bestimmung der DMF(T)/dmf(t)-Werte erfolgte nach folgenden Beurteilungskriterien:

#### Keine Karies

Sofern keine Merkmale einer behandelten oder unbehandelten Primär- und/oder Sekundärkaries erkennbar waren, wurde ein Zahn als kariesfrei bezeichnet. Folgende Unregelmäßigkeiten wurden nicht als Karies bewertet:

- kreidige und/oder weiße Flecken
- rauhe und/oder verfärbte Flecken
- verfärbte Fissuren oder Grübchen des Zahnschmelzes, an welchen die Sondenspitze anhaftete, die aber keine fühlbar erweichte Kavität, unterminierten Schmelz oder Erweichung der Wände des Fissurenreliefs zeigten.

#### Karies

Wenn eine Läsion einen fühlbar weichen Boden, unterminierten Schmelz oder eine erweichte Wand aufwies, wurde der Zahn als kariös gekennzeichnet. Dazu war es erforderlich, dass die Sonde Läsionen eindeutig penetrieren konnte. Fragwürdige Befunde wurden nicht als Karies bewertet.

Die Karies ist ein lokalisierter pathologischer Prozeß, der anfangs eine Entmineralisierung der Zahnhartsubstanzen zur Folge hat. Obwohl diese Entmineralisierung nur als mikroskopische Läsion sichtbar ist, stellt sie streng genommen schon eine Karies dar. Mit den herkömmlichen klinischen Untersuchungsmethoden ist in diesem Stadium keine eindeutige Diagnose möglich, zumal es auch zu einer Rückbildung – Remineralisation – kommen kann. Erst wenn der Kariesprozess das Stadi-

um eines offensichtlichen Oberflächendefektes erreicht hat, ist eine sichere Diagnose möglich [BAUME 1962].

Als kariös wurde gleichermaßen bewertet, wenn:

- ein Zahn eine provisorische Füllung aufwies und eine weitere Versorgung notwendig war,
- es zum Verlust einer Füllung gekommen war,
- eine oder mehrere Flächen mit Füllungen versorgt waren und ein anderer separater Bereich kariöse Läsionen zeigte,
- am Füllungsrand eine Sekundärkaries vorlag.

#### Fehlender Zahn

Milchschneidezähne wurden dann als fehlend bewertet, wenn sie bis zur Vollendung des 5. Lebensjahres nicht in der Mundhöhle vorhanden waren. Milcheckzähne und Milchmolaren galten dann als fehlend, wenn sie bis zur Vollendung des 9. Lebensjahres nicht in der Mundhöhle vorhanden waren. Im bleibenden Gebiss wurden mittlere Schneidezähne und erste Molaren als fehlend bewertet, wenn sie nach Vollendung des 8. Lebensjahres noch nicht durchgebrochen waren. Sofern die seitlichen bleibenden Incisivi bis zum vollendeten 9. Lebensjahr nicht durchgebrochen waren, wurden sie als fehlend angesehen. Die reguläre Phase für den Durchbruch der bleibenden Eckzähne, Prämolaren und zweiten Molaren ist die Zeit bis zur Vollendung des 13. Lebensjahres [REICH 1997; HELLWIG et al. 1999]. Waren sie bis dahin nicht vorhanden, galten sie als fehlende Zähne.

#### Gefüllter Zahn

Wenn ein Zahn mit einem definitiven Füllungsmaterial versorgt war und keine Merkmale einer weiteren Karies oder einer Sekundärkaries erkennen ließ, wurde er als gefüllt bewertet. In diese Gruppe fielen auch überkronte oder mit konfektionierten Milchezahnkronen versehene Zähne.

#### Zusätzliche Eintragungen

Wenn ein kariesfreier Zahn mit einer Fissurenversiegelung versorgt war, wurde er mit „FV“ gekennzeichnet und der Gruppe „Keine Karies“ zugerechnet.

### 3.2.2.3 Plaque-Index

Für die Erhebung des Plaque-Index wird der Plaquelevel der koronalen fazialen Zahnflächen ermittelt [QUIGLEY und HEIN 1962]. Dazu wird die Plaque vor der Beurteilung mit einem Färbemittel kenntlich gemacht. Danach spült der Patient den Mund gründlich aus, um überschüssiges Plaquefärbemittel zu entfernen. Anschließend wird die Plaqueausdehnung unterschiedlichen Intensitätsgraden (0-5) zugeordnet. Dabei bedeutet Grad 0 absolute Plaquefreiheit. Bei Grad 1 sind voneinander getrennte Plaqueinseln im Bereich des Gingivalrandes verteilt, welche bei Grad 2 zu einer zusammenhängenden Plaquelinie verschmolzen sind. Diese Linie hat sich bei Grad 3 schon über das gesamte zervikale Drittel des Zahnes ausgedehnt. Grad 4 bedeutet, dass die Plaque auch das mittlere Drittel der Oberfläche erfasst hat. Wenn sich der Plaquebefall schließlich bis in das koronale Drittel des Zahnes ausgeweitet hat, entspricht dies Grad 5. Der Plaque-Index wurde an den sogenannten "RAMFJORD"-Zähnen beurteilt, welche stellvertretend für das ganze Gebiß untersucht werden. Es handelt sich im Milchgebiss um die Zähne 55, 61, 64, 75, 81 und 84 und im bleibenden Gebiss um die Zähne 16, 21, 24, 36, 41 und 44 [RAMFJORD 1959]. Aus der Summe der Messwerte und der Summe der beurteilten Flächen wird dann der Quotient gebildet, welcher den spezifischen Plaqueindex des Patienten wiedergibt.

### 3.3 Mikrobiologische Untersuchungen

#### 3.3.1 Keimbesiedelung des Speichels

Zu Beginn der Studie wurden die Patienten zunächst auf Anwesenheit bzw. Anzahl von *Streptococcus mutans*, Laktobazillen und *Candida* spezie in der Mundhöhle untersucht.

##### 3.3.1.1 CRT bacteria Test (Ivoclar Vivadent, Schaan/ Liechtenstein)

Dieser Test erlaubt die gleichzeitige Überprüfung auf Vorhandensein und Anzahl von Mutans-Streptokokken und Laktobazillen. Er besteht aus einem Untersuchungsträger, welcher über zwei charakteristische Agarfelder verfügt. Der Mitis-Salivarius-Agar lässt ausschließlich die Vermehrung von Mutans-Streptokokken zu, wohingegen der Rogosa-Agar nur das Wachstum von Laktobazillen anzeigt (Abb. 4).



Abb. 4 CRT® bacteria Testzubehör

### Mutans Streptokokken-Keimzahl

Zur exakten Auswertung wurde die Mitis-Salivarius-Agarfläche mittels einer Trennlinie in zwei Hälften separiert. Die erste Hälfte wurde mit 10 µl Speichel befeuchtet. Für die zweite Hälfte wurde der Speichel vorher im Verhältnis 1:100 mit 1ml NaCl-Lösung gemischt und dann 10 µl auf dem Träger ausgestrichen. Danach wurde der Testansatz für 48 Stunden bei 37°C in einem Wärmeschrank belassen und nach Ablauf dieser Zeit die Menge der bläulichen Mutans Streptokokken-Kolonien ausgezählt (Abb. 5). Mit Hilfe der so gewonnenen Zahlenwerte ließ sich die in 1 ml Speichel enthaltene Keimzahl errechnen und eine Zuordnung in die folgenden vier Klassen vornehmen:

0: keine; 1:  $<10^5$ ; 2:  $10^5$  bis  $<10^6$ ; 3:  $10^6$  bis  $<10^7$ ; 4:  $\geq 10^7$  KBE/ml Speichel.



Abb. 5 Agarfläche des CRT-Tests mit Mutans Streptokokken Kolonien

### Laktobazillen-Keimzahl

Auch bei der Bestimmung der Laktobazillenanzahl war die Rogosa-Agarfläche durch eine Linie geteilt. Wieder wurden 10 µl Speichel auf die erste Hälfte und 10 µl einer Speichelsuspension (Mischungsverhältnis 1:100) auf die zweite Hälfte aufgebracht. Dann erfolgten analog die Bebrütung im Wärmeschrank für 48 Stunden bei 37° C und die separate Auszählung der weißen Laktobazillen-Kolonien auf den Agarhälften (Abb. 6). Anschließend wurden die Keimzahlen auf 1 ml Speichel umgerechnet und wie folgt den Keimzahlklassen zugeordnet:

0: keine; 1:  $<10^4$ ; 2:  $10^4$  bis  $<10^5$ ; 3:  $10^5$  bis  $<10^6$ ; 4:  $\geq 10^6$  KBE/ml Speichel.



*Abb. 6 Agarfläche des CRT-Tests mit Laktobazillen-Kolonien*

### 3.3.1.2 Sabouraud Agar-Test (Merck KgaA, Darmstadt/ Deutschland)

Dieser Nährboden wurde zur Identifizierung von *Candida* spezie verwendet. Erneut wurde der Agarträger mit Hilfe der Impfschlinge vorab in zwei Teile separiert und wie in den obigen Keimtestungen 10 µl Speichel und 10 µl einer Mischung von Speichel und Kochsalzlösung auf die beiden Hälften des Nährbodens suspensiert (Abb. 7).

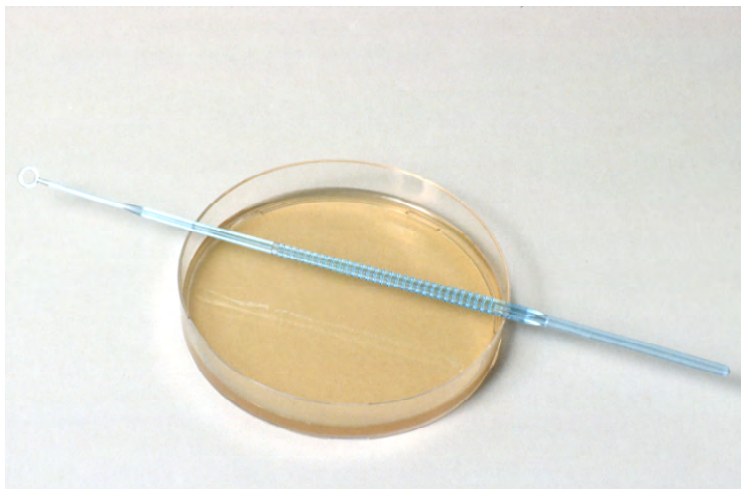


Abb. 7 Sabouraud Agar mit Impfschlinge

Danach erfolgten die Inkubation der Versuchsträger über 48 Stunden bei 37° C und die sich anschließende Auswertung. Mittels des sogenannten Keimschlauchtests ließ sich eine Unterscheidung der verschiedenen *Candida* spezie durchführen. Durch die Verwendung von CHROMagar (CHROMagar, Paris/ Frankreich) konnte bei Bedarf noch eine genauere Differenzierung erfolgen [BERNAL et al. 1996].

Die Auswertung der Keimzahlen und die Umrechnung auf ihre Häufigkeit in 1 ml Speichel erfolgten getrennt für beide Hälften des Nährbodens (Abb. 8).



Abb. 8 Mit *Candida*-Kolonien bewachsener Sabouraud Agar

Anschließend wurde die Anzahl der Pilze folgenden Klassen zugeteilt:

0: keine; 1:  $<10^4$ ; 2:  $10^4$  bis  $<10^5$ ; 3:  $10^5$  bis  $<10^6$ ; 4:  $\geq 10^6$  KBE/ml Speichel.

### 3.3.2 Keimbesiedelung der Zahnbürsten

Um die verschiedenen Keime aus den Bürstenköpfen zu eliminieren, wurden letztere in kleine Behälter aus Glas gegeben, die 15 ml Sputasol-Lösung (Oxoid, Basingstoke/ England) enthielten. Danach erfolgte eine 10-minütige Aktivierung im Ultraschall-Bad (Bandelin Sonorex, Berlin/ Deutschland) (Abb. 9).





*Abb. 9 Ultraschallgerät (Bandelin Sonorex)*

Jeweils 1 ml der so erhaltenen Lösungen wurden danach in ein Eppendorf-Probengefäß gegeben, für vier Minuten bei 20.000 U/min zentrifugiert und 800 µl der klaren Flüssigkeit aus dem Gefäß entfernt. Am Gefäßboden hatte sich dabei ein Pellet aus festen Bestandteilen gebildet, welches nun wieder mit den übrigen 200 µl der Flüssigkeit durchmischt wurde. Von der so erhaltenen Suspension wurden schließlich jeweils 20 µl auf die beiden spezifischen Agarflächen des CRT Testes ausgestrichen. Nach Bebrütung im Wärmeschrank über 48 Stunden ließ sich dann die Anzahl der enthaltenen Keimkolonien ermitteln und die Keimzahl auf 1 ml Lösung errechnen.

Um auch vorhandene Pilze identifizieren zu können, wurden analog 20 µl derselben Lösung auf Sabouraud Agar ausgestrichen und bebrütet. Mittels des Keimschlauchtests ließen sich danach die vorhandenen *Candida* spezie differenzieren. War eine eindeutige Unterscheidung nicht möglich, so wurde auch hier der CHROMagar Test zur weiteren Kennzeichnung verwendet. Die Keimzahlen in 1 ml Flüssigkeit wurden abschließend zum CRT-Test errechnet.

### **3.4 Statistik**

Die gewonnenen Daten der Patienten wurden mit dem Programm SPSS® für Windows, Version 8.0, statistisch ausgewertet. Die Unterschiede der Keimbesiedelung der Bürsten wurden mittels des U-Test nach *Mann-Whitney* für zwei unabhängige Stichproben ermittelt. Dabei erfolgte die Bewertung der Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  und damit die Beurteilung des Signifikanzniveaus folgendermaßen:  $p > 0,05$ : nicht signifikant;  $p \leq 0,05$ : signifikant;  $p \leq 0,01$ : sehr signifikant;  $p \leq 0,001$ : höchst signifikant [BÜHL und ZÖFEL 1999].

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Bürstenkopfmerkmale und Bearbeitung der Borstenenden

#### 4.1.1 Produkt A: Bürsten mit Bündel-Stanzbesteckung

##### 4.1.1.1 Konstruktion des Bürstenkopfes

Die Grundfläche des Bürstenkopfes ist in der Form eines Sechsecks mit unterschiedlichen Seitenlängen und einem bis zu 20 x 10 mm großem Borstenfeld gestaltet. Die Filamente sind in 37 Bündeln zusammengefasst, welche in 12 Querreihen ausgerichtet werden (Abb. 10). Beginnend von der Bürstenkopfspitze bestehen die erste, die dritte und die letzte Reihe aus zwei Borstenbündeln. Die zweite, vierte, fünfte, zehnte und elfte Reihe bestehen aus drei, die übrigen Reihen aus vier Bündeln. Die Abstände zwischen den einzelnen Bündeln der ersten drei Reihen verkleinern sich im Vergleich zu den anderen Reihen; das Besteckungsfeld folgt hierbei in seiner Form dem Bürstenkörper. Jedes blaue Bündel besteht aus 40 Einzelfilamenten und jedes weiße aus 45 Filamenten. Der Durchmesser beträgt jeweils 0,25 mm. Da die Schnitthöhe zwischen 9 und 11 mm variiert, liegt kein planes Borstenfeld vor.



Abb. 10 Bürstenkopf in Schrägansicht (Produkt A)

#### 4.1.1.2 REM-Befunde der Borstenenden

Aufgrund der unterschiedlichen Filamentlängen der Borstenbündel besteht kein plan-  
nes Putzfeld, weshalb auch die gleichmäßige Bearbeitung von längeren und kürze-  
ren Bündeln getrennt untersucht wurde. Hierbei wurden jedoch keine Unterschiede  
hinsichtlich der Bearbeitungsqualität festgestellt. In der schrägen Aufsicht über ein  
Borstenbündel wird die gleichmäßige Abrundung fast aller Borstenenden deutlich  
(Abb. 11). Schräg angeschnittene Flächen sind nur in geringer Anzahl zu erkennen.  
Einige der Borsten lassen im Zentrum ihrer Abrundung noch kleine Kunststoffreste  
von der Bearbeitung erkennen (Abb. 12).

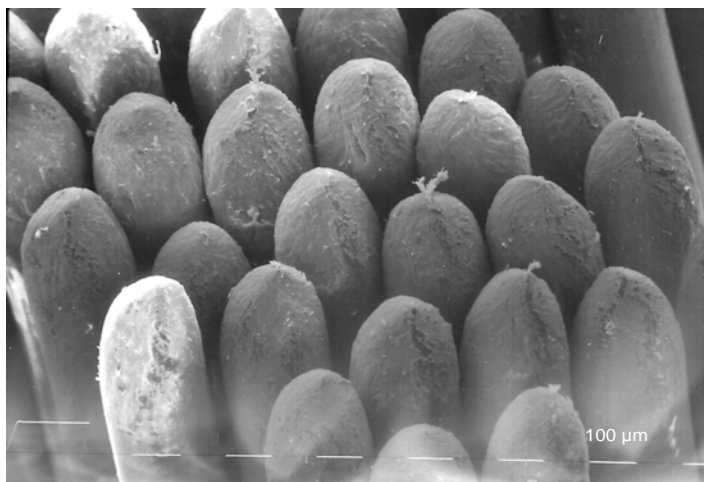


Abb. 11 Aufnahme der Borstenenden in der Schrägansicht (Produkt A)



Abb. 12 Großaufnahme einiger Filamentenden (Produkt A)

#### 4.1.2 Produkt B: Bürsten mit Bündel-Einspritzbesteckung

##### 4.1.2.1 Konstruktion des Bürstenkopfes

Der Putzkopf dieser Zahnbürste hat zum vorderen Kopfbereich hin die Form eines abgerundeten Konus (Abb. 13) mit einem 28 x 9 mm großen Borstenfeld. Dieses verjüngt sich nach vorne hin und besteht aus 38 Borstenbündeln, welche in 11 Querreihen angeordnet sind. Dabei wird die erste Reihe aus zwei Borstenbündeln gebildet. Die zweite, dritte, vierte und die letzte Reihe enthalten jeweils drei Borstenbündel. Die fünfte bis zehnte Reihe bestehen dagegen aus vier Bündeln, wobei hier aber die beiden in der fünften und sechsten Querreihe außen angeordneten Bündel eine blaue Farbe aufweisen. Diese blauen Bündel enthalten jeweils 43 Filamente und haben einen Durchmesser von 0,22 mm. Dahingegen weisen die weißen Bündel 86 Filamente bei einem Durchmesser von 0,2 mm auf. Die Länge der einzelnen Filamente liegt zwischen 13 bis 15 mm, da die einzelnen Borstenbündel eine konische Form zeigen. Aus diesem Grund liegt auch kein planes Borstenfeld vor. Vorne am Putzkopf sind außerdem die Abstände zwischen den Borstenbündeln deutlich größer als im hinteren Bereich.



Abb. 13 Bürstenkopf in Schrägansicht (Produkt B)

#### 4.1.2.2 REM-Befunde der Borstenenden

Insgesamt sind die Borsten der untersuchten Exemplare gleichmäßig abgerundet, wobei die Borstenenden halbkugelig mit einem horizontalen Plateau geformt sind (Abb. 14). Die Kanten der Filamente wurden im stumpfen Winkel abgerundet. Obwohl die Schnittlängen der einzelnen Filamente differieren, lassen die Borstenenden auch bei diesem Produkt keine unterschiedliche Bearbeitung erkennen. Lediglich die zentralen Flächen sind von flachen Rillen durchzogen (Abb. 15). Kunststoffspäne von der Bearbeitung sind kaum vorhanden, so dass sich auch auf eine gute Abschlußsäuberung schließen lässt.

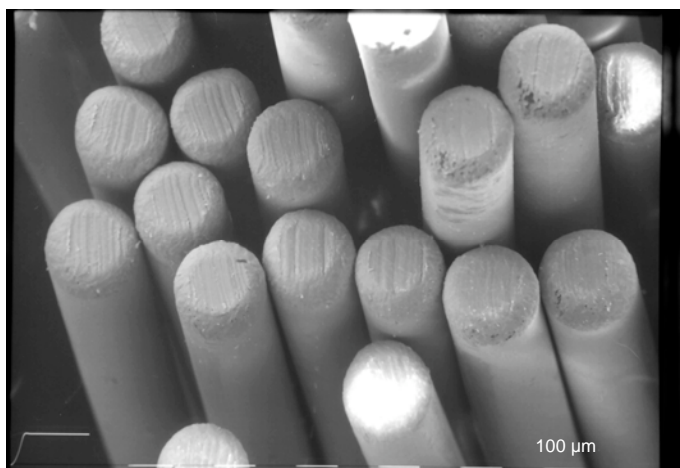


Abb. 14 Aufnahme der Borstenenden in der Schrägansicht (Produkt B)

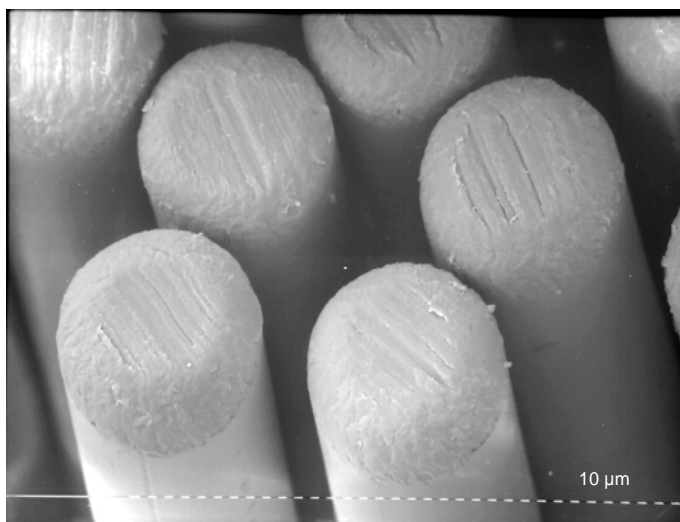


Abb. 15 Großaufnahme einiger Filamentenden (Produkt B)

### 4.1.3 Produkt C: Kinderzahnbürsten mit Bündel-Stanzbesteckung

#### 4.1.3.1 Konstruktion des Bürstenkopfes

Die vorliegende Zahnbürste wurde speziell für Kinder entwickelt. Der Zahnbürstenkopf hat die Form eines Rhombus, welcher im Vorderbereich abgerundet ist. Das Putzfeld der Bürste ist plan und dabei 21 x 8 mm groß (Abb. 16). Darauf sind 27 Borstenbündel in 9 Querreihen angeordnet, wobei die erste und letzte Reihe aus jeweils zwei Bündeln gebildet werden. In der zweiten bis fünften und in der achten Reihe sind drei Bündel verankert und die sechste und siebte Reihe bestehen aus vier Bündeln. Die jeweils randständigen Borstenbündel weisen eine gelbe Farbe auf. Die weißen Bündel werden aus 54 einzelnen Filamenten mit einem Durchmesser von ca. 0,25 mm gebildet, wohingegen die gelben Borstenbündel aus 49 Filamenten bestehen. Die Borstenlänge dieser Bürste liegt bei 10 mm.



Abb. 16 Bürstenkopf in Schrägansicht (Produkt C)



#### 4.1.3.2 REM-Befunde der Borstenenden

Die Bearbeitung der Borstenenden erfolgte recht ungleichmäßig. Die Formen sind nicht einheitlich, sondern laufen verschieden spitz zu. Die einzelnen Filamente zeigen sowohl dachförmige und schräg auslaufende Anschliffe als auch horizontal beschliffene Formen. Viele der untersuchten Borstenenden weisen eine unebene Oberfläche auf, außerdem sind Kunststoffreste von der Endbearbeitung zurückgeblieben (Abb. 17). Die Bearbeitung der Borstenenden bietet kein einheitliches Bild, sondern recht vielfältige Formen. Insgesamt wird bei diesem Produkt das Ziel gleichmäßig abgerundeter Enden der Filamente nicht erreicht (Abb. 18).

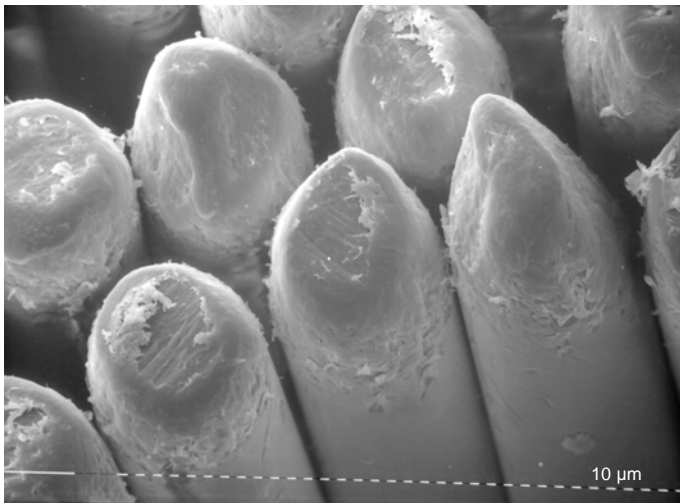


Abb. 17 Borstenenden in der Schrägansicht (Produkt C)

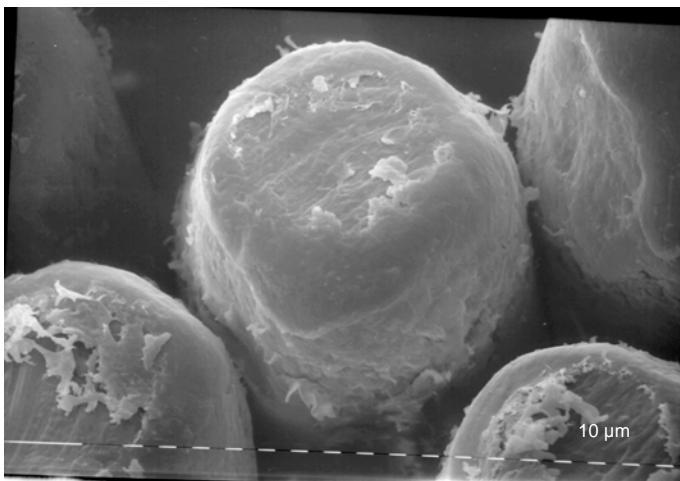


Abb. 18 Großaufnahme einzelner Borstenenden (Produkt C)

#### 4.1.4 Produkt D: Kinderzahnbürsten mit Bündel-Einfügebesteckung

##### 4.1.4.1 Konstruktion des Bürstenkopfes

Diese Zahnbürste verfügt über einen kleinen, rechteckigen Bürstenkopf mit abgerundeten Kanten und ist speziell für Kinder gedacht. Das plane Borstenfeld ist 21 mm lang, 6 mm breit und besteht aus 26 in drei Längsreihen angeordneten Borstenbündeln (Abb. 19). Dabei wird jedes Bündel aus 68 einzelnen Filamenten gebildet. Die einzelnen Bündel sind in den Farben rot, gelb und weiß ausgeführt. Die Schnitthöhe der Filamente liegt bei 9 mm, wobei der Durchmesser 0,25 mm beträgt.

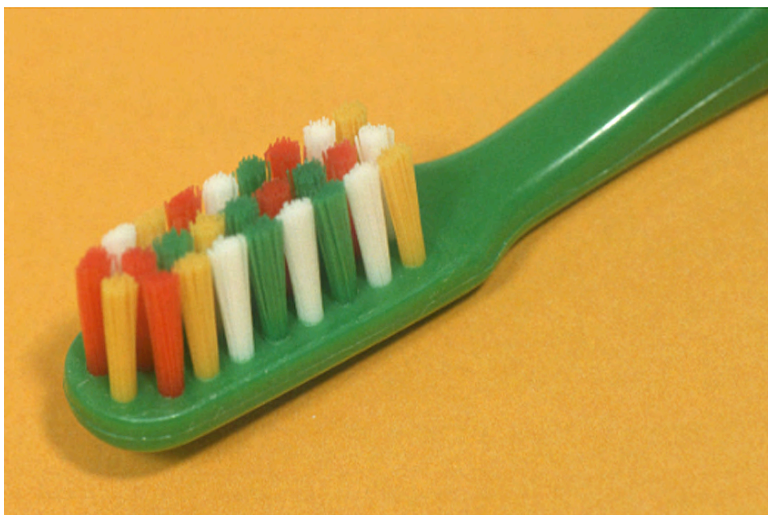


Abb. 19 Bürstenkopf in Schrägansicht (Produkt D)



#### 4.1.4.2 REM-Befunde der Borstenenden

Es erfolgte bei fast allen Borstenenden eine gute Endbearbeitung. Die Borsten verjüngen sich zur Spitze hin und bilden die Form einer Halbkugel. An ihren Enden verfügen sie über eine flache, horizontale Ebene. Durch die Endbearbeitung blieb eine rauhe und leicht riffelige Oberfläche zurück (Abb. 20). Die abschließende Reinigung der Borstenenden ist befriedigend, an wenigen Filamenten lassen sich allerdings noch kleinere Kunststoffreste erkennen (Abb. 21).

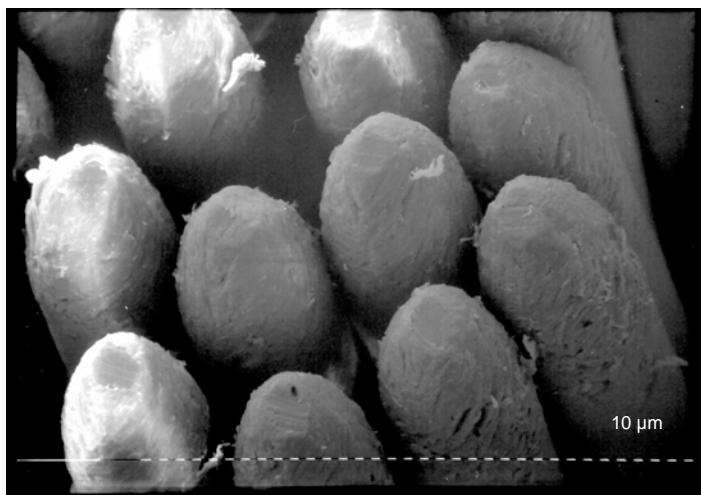


Abb. 20 Aufnahme der Borstenenden in der Schrägansicht (Produkt D)

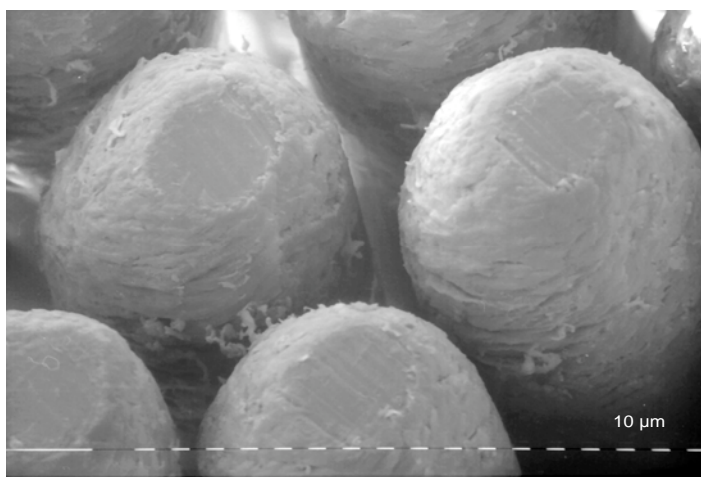


Abb. 21 Großaufnahme der Borstenenden (Produkt D)

## 4.2 Borstenbesteckung

Die makroskopische Betrachtung von Schnittpräparaten der untersuchten Zahnbürsten macht drei unterschiedliche Besteckungsprinzipien in den Bürstenköpfen deutlich.

### 4.2.1 Prinzip 1: Bürsten mit Bündel-Stanzbesteckung

#### 4.2.1.1 Makrofotografische Untersuchung

Dieses System wird in den Produkten A und C verwendet und stellt das älteste gebräuchliche Besteckungsprinzip dar. Dabei werden die Borstenbüschel schlaufenförmig um rechteckige Metallplättchen gelegt und dann zusammen mit dem Plättchen in einem vorher angelegten Bohrloch im Bürstenkopf verkeilt (Abb. 22).

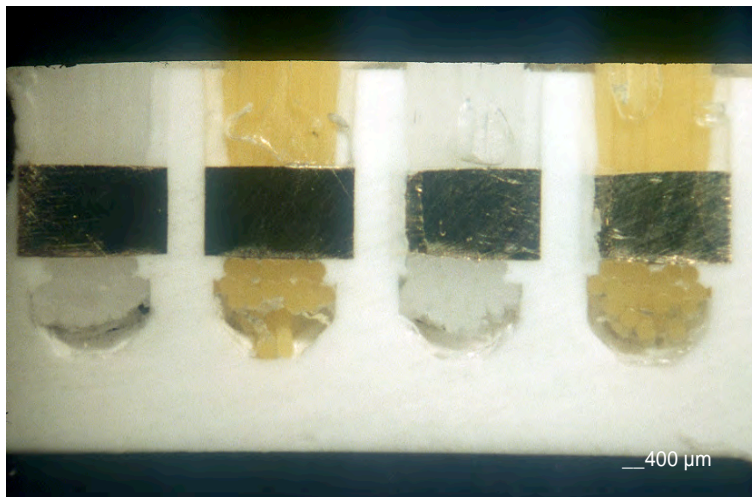


Abb. 22 Prinzip 1; Produkt A: Längsschnitt einer Zahnbürste mit Metallplättchenverankerung

In Abbildung 23 wird deutlich, dass die Borstenbündel zusammen mit dem Metallplättchen die vorgebohrte Vertiefung im Bürstenkopf nicht vollständig ausfüllen und vergleichsweise größere Hohlräume zurückbleiben.

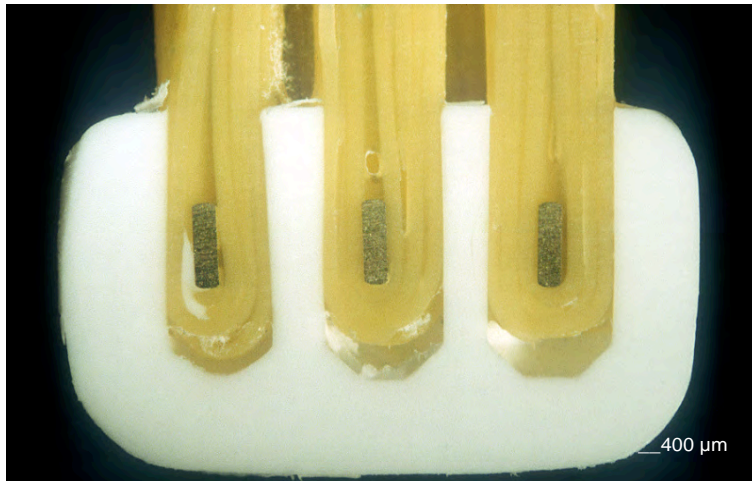


Abb. 23 Prinzip 1 (Produkt A): Querschnitt einer Zahnbürste mit Metallplättchenverankerung

In Abbildung 24 wird eine weitere Variante der Metallplättchenverankerung dargestellt, welche im Produkt C Verwendung gefunden hatte. Der Unterschied zur Zahnbürste A liegt darin, dass die Metallplättchen auf einer Seite über drei Querriefen verfügen, welche als zusätzliche Retention für die Borstenbüschel dienen.



Abb. 24 Prinzip 1 (Produkt C): Querschnitt einer Zahnbürste mit Metallplättchenverankerung (Variante)

#### 4.2.1.2 REM-Befunde

Die Abbildungen 25 und 26 zeigen die in die vorgebohrten Vertiefungen eingebrachten Borstenbüschel des Produktes A. Seitlich davon ist eine zentrale Kerbe zu erkennen, welche zur Aufnahme des Metallplättchens dient. Der Randbereich des Bürstenkörpers zeigt eine unebene Struktur mit Kunststoffaufwerfungen und Rauigkeiten, woraus eine gewisse Inhomogenität resultiert. Unschwer lassen sich schließlich auch die multiplen kleinen Hohlräume zwischen den Filamenten und der Randbegrenzung ausmachen.

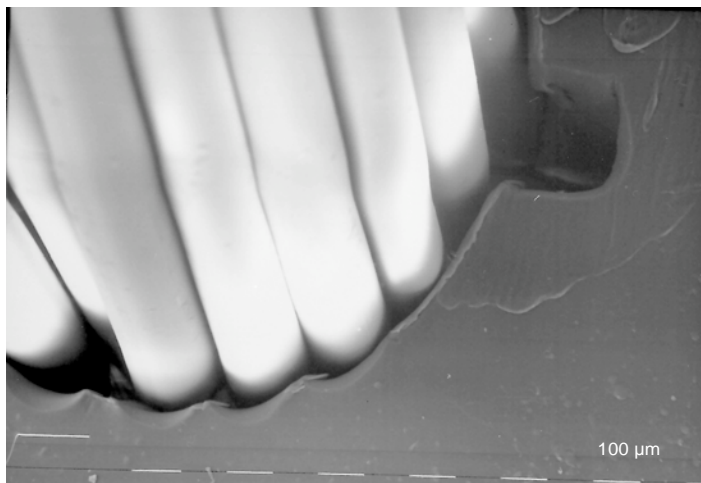


Abb. 25 Prinzip 1 (Produkt A): Spalten und Einschubkanal in Längsansicht der Bürste

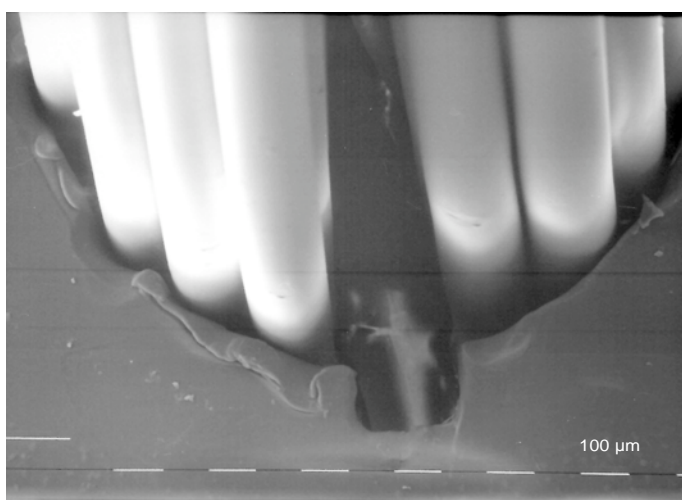


Abb. 26 Prinzip 1 (Produkt A): Einschubkanal für das Metallplättchen in Quersicht der Bürste

## 4.2.2 Prinzip 2: Bürsten mit Bündel-Einspritzbesteckung

### 4.2.2.1 Makrofotografische Untersuchung

Das Produkt B zeigt ein Besteckungsprinzip, das Hohlräume und Spalten im Kunststoffkörper weitgehend vermeidet. Die Abb. 27 lässt erkennen, dass das Material des Bürstenkopfes und die Basis der Borstenbüschel ohne nennenswerte Hohlraumbildungen in Kontakt stehen. Waren kleinere Spalten zu erkennen, so hatten sie jedoch keinen Kontakt zur Oberfläche.

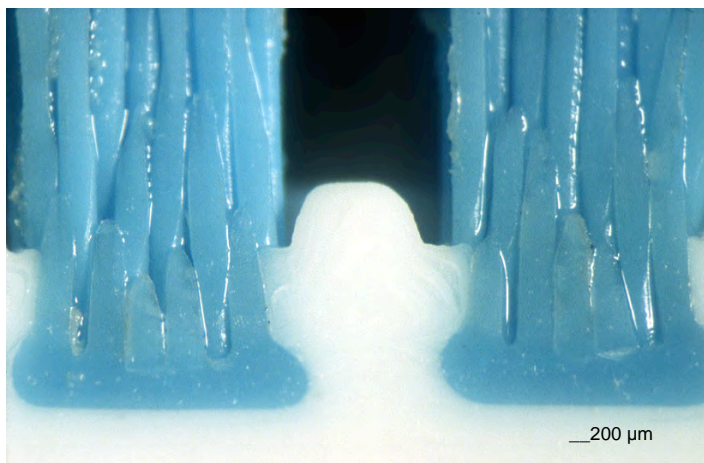


Abb. 27 Prinzip 2 (Produkt B): Querschnitt einer Zahnbürste mit dem Bündel-Einspritzverfahren



#### 4.2.2.2 REM-Befunde

Die Abbildungen 28 und 29 zeigen den Büschelrandbereich von Bürsten mit Bündel-Einspritzbesteckung. Der eingebrachte Kunststoff verschließt die ehemaligen Bohr-löcher mit den eingefügten Borstenbündeln vollständig und spaltenfrei. Bürstenkör-per und Befestigungskunststoff der Borstenbündel liegen auch nahezu auf gleichem Höhenniveau.

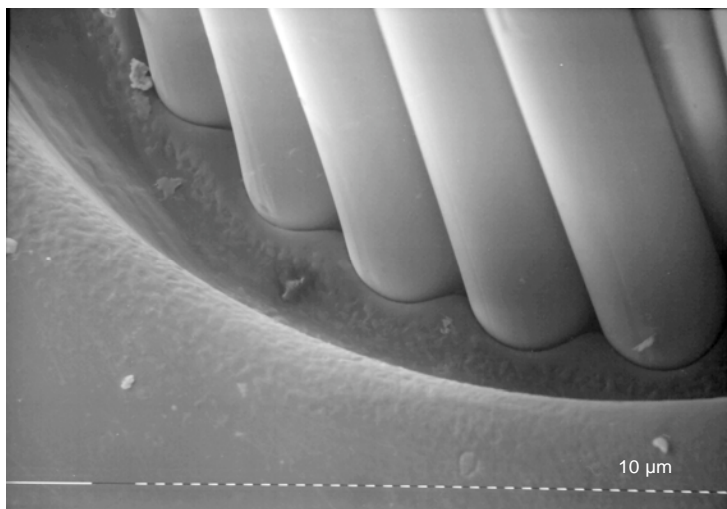


Abb. 28 Prinzip 2 ( Produkt B): Teilansicht eines mit Kunststoff „eingeschweißten“ Borstenbündels

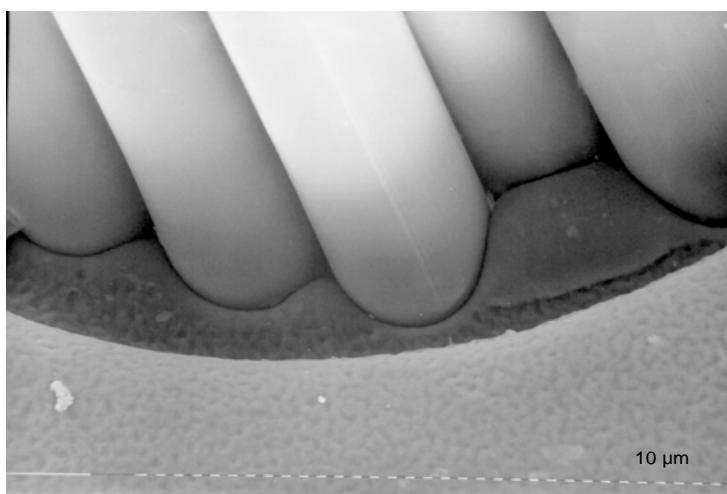


Abb. 29 Prinzip 2 ( Produkt B): vergrößerte Darstellung einiger „eingeschweißter“ Borsten

### 4.2.3 Prinzip 3: Bürsten mit Bündel-Einfügesteckung

#### 4.2.3.1 Makrofotografische Untersuchung

Bei diesem Besteckungsprinzip des Produktes D wird deutlich, dass die Basis der Borstenbüschel nur unvollständig mit dem Bürstenkopf verbunden ist. Durch die verfahrensbedingt einwirkende Hitze ist es im tieferen Bereich des Bohrloches zu Verschmorungserscheinungen des Kunststoffes gekommen. Die vorgefertigten und mit einem Kunststoffwulst versehenen Borstenbüschel lassen allerdings keine Folgen der Wärmeeinwirkung erkennen und erscheinen daher fast hohlraumfrei (Abb. 30).

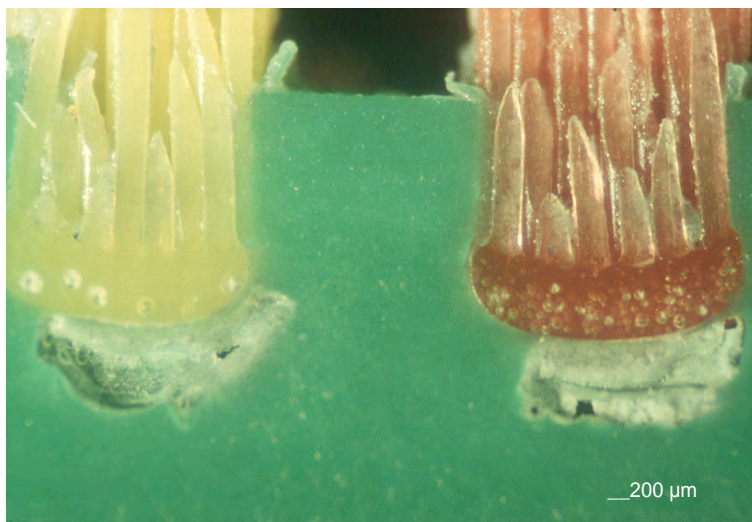


Abb. 30 Prinzip 3 ( Produkt D): Querschnitt einer Zahnbürste mit dem Bündel-Einfügevverfahren

#### 4.2.3.2 REM-Befunde

Die Abbildungen 31 und 32 zeigen, dass der eingebrachte Befestigungskunststoff das Bohrloch und die eingefügten Borstenbündel nahezu spaltenfrei verschießt. Der Bürstenkörper weist allerdings eine raue und teilweise aufgeworfene Oberfläche auf. Auch auf der Oberfläche des Befestigungskunststoffes lassen sich noch solche Unebenheiten erkennen. Hinzu kommen lose Kunststoffreste, welche bei der Schlussbearbeitung zurückgeblieben sind.

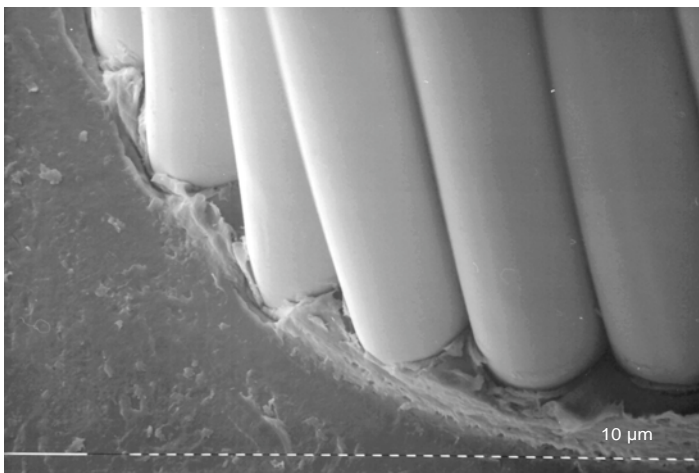


Abb. 31 *Prinzip 3 (Produkt D): Teilansicht eines Borstenbündels; Unebenheiten im Kontaktbereich der Kunststoffe*

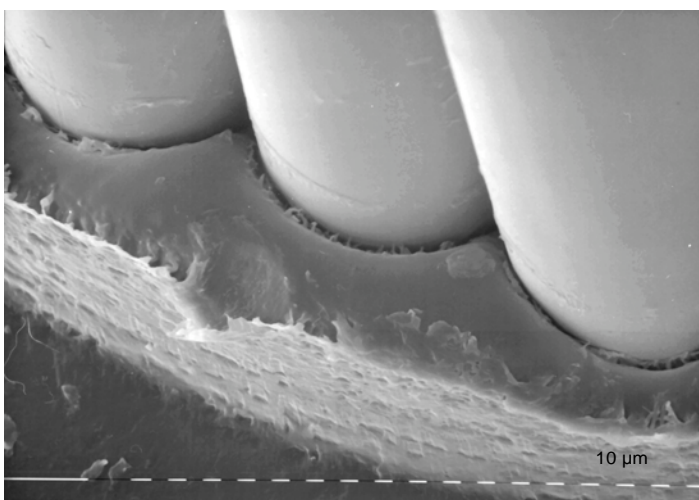


Abb. 32 *Prinzip 3 (Produkt D): Einzelne im Kunststoff gefasste Borsten*



### 4.3 Patienten

#### 4.3.1 Geschlechtsverteilung und Durchschnittsalter

Die Alters- und Geschlechtsverteilung der einzelnen Patientengruppen (I-IV) wird in Tabelle 1 dargestellt. Zur Gruppe I gehörten 12 Jungen und 8 Mädchen mit einem durchschnittlichen Alter von 107,5 Monaten. In Gruppe II befanden sich 13 Jungen und 7 Mädchen, wobei das Durchschnittsalter 103 Monate betrug. Die Gruppe III setzte sich aus 11 Jungen und 4 Mädchen im Alter von durchschnittlich 47,5 Monaten zusammen und die Gruppe IV bestand aus 11 Jungen und 4 Mädchen mit einem Durchschnittsalter von 53,7 Monaten.

Tab.1 Geschlechtsverteilung und Durchschnittsalter

Putzgruppe		Kinder	Jungen	Mädchen	Durchschnittsalter/Monate
<b>I (A)</b>	n	20	12	8	107,5
	%	100	60	40	
<b>II (B)</b>	n	20	13	7	103
	%	100	65	35	
<b>III (C)</b>	n	15	11	4	47,5
	%	100	73	27	
<b>IV (D)</b>	n	15	11	4	53,7
	%	100	73	27	
<b>Gesamt</b>		<b>70</b>	<b>47</b>	<b>23</b>	<b>81,8</b>

#### 4.3.2 DMF(T)/dmf(t)-Befunde

Die durchschnittlichen DMF/dmf(T/t)-Werte für bleibende und Milchgebisse der verschiedenen Putzgruppen werden in Tabelle 2 dargestellt. Die Summe der kariös geschädigten, aufgrund von Karies fehlenden und mit Füllungen versorgten Zähnen betrug für Gruppe I 10,3 und für Gruppe II 8,9. Die statistische Auswertung erbrachte keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden den Gruppen ( $p > 0,05$ ).

Für die Gruppe III betrug der Wert 10,1 und für die Gruppe IV 9,6, wobei sich für diese beiden Gruppen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ergaben ( $p > 0,05$ ).

Bei der Gegenüberstellung der einzelnen Putzgruppen wird deutlich, dass der Kariesbefall der Probanden größtenteils als hoch einzustufen war.

Der größte Anteil der DMF/dmf(T/t)-Gesamtwerte kam so auch in allen Putzgruppen durch noch kariös geschädigte Zähne zustande.

In Gruppe I lag der D/d-Wert der Kinder bei 8,2, dem stehen M/m-Werte von 0,1 und F/f-Werte von 2,0 gegenüber. In Gruppe II lag der D/d-Wert bei 7,3, in Gruppe III bei 9,7 und in Gruppe IV bei 8,9. Entsprechend machten die M/m- und F/f-Werte auch in den übrigen Gruppen nur einen geringen Anteil am Gesamtwert aus.

Tab. 2 Durchschnittliche DMF/dmf (T/t)-Gesamt- und Einzelwerte

Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III		Gruppe IV	
DMF/dmf	10,3(±4,9)	DMF/dmf	8,9 (±5,0)	DMF/dmf	10,1(±3,5)	DMF/dmf	9,6 (±4,5)
D/d	8,2 (±5,4)	D/d	7,3 (±5,0)	D/d	9,7 (±3,6)	D/d	8,9 (±4,7)
M/m	0,1 (±0,2)	M/m	0,3 (±0,6)	M/m	0,1 (±0,5)	M/m	0,1 (±0,4)
F/f	2,0 (±2,4)	F/f	1,3 (±2,3)	F/f	0,3 (±0,8)	F/f	0,5 (±1,0)
DMF	4,3 (±5,2)	DMF	3,3 (±3,4)	DMF	0,1 (±0,3)	DMF	0
D	3,2 (±4,7)	D	2,7 (±3,2)	D	0,1 (±0,3)	D	0
M	0,1 (±0,2)	M	0,3 (±0,6)	M	0	M	0
F	1,0 (±1,5)	F	0,3 (±0,8)	F	0	F	0
dmf	6,0 (±4,2)	dmf	5,6 (±4,7)	dmf	10,0(±3,4)	dmf	9,6 (±4,5)
d	5,0 (±4,4)	d	4,6 (±4,3)	d	9,6 (±3,5)	d	8,9 (±4,7)
m	0	m	0	m	0,1 (±0,5)	m	0,1 (±0,4)
f	1,0 (±1,6)	f	1,0 (±2,0)	f	0,3 (±0,8)	f	0,5 (±1,0)

### 4.3.3 Plaque-Befunde

Die Darstellung der Ergebnisse zur Plaquebestimmung vor Beginn der Putzuntersuchungen der einzelnen Gruppen erfolgt in Tabelle 3.

Tab. 3 Mittlere Plaque-Indices

Putzgruppe		Durchschnittliche Plaquewerte
Gruppe I	n=20	2,9 ( $\pm 0,6$ )
Gruppe II	n=20	2,9 ( $\pm 0,7$ )
Gruppe III	n=15	2,6 ( $\pm 0,7$ )
Gruppe IV	n=15	3,2 ( $\pm 0,6$ )
<b>Gesamt</b>	<b>n=70</b>	<b>2,9 (<math>\pm 0,7</math>)</b>

Die durchschnittlichen Plaquewerte für die Gruppen I und II betrugen 2,9. Für die Gruppe III lag ein Wert von 2,6 und für Gruppe IV von 3,2 vor. Der Durchschnittswert für alle Kinder betrug 2,9.

### 4.3.4 Keimbesiedelung des Speichels vor den Putzversuchen

#### 4.3.4.1 Mutans Streptokokken

Die Anwesenheit von Mutans Streptokokken im Speichel der untersuchten Kinder wird in Tabelle 4 dargestellt.

Da dieser Keim bei allen Kindern vorhanden war, bot er sich für die weiteren mikrobiologischen Untersuchungen der Zahnbürsten an.

Tab.4 Mutans-Streptokokkenbesiedelung des Speichels

<b>Mutans Streptokokken</b>				
<b>Putzgruppen</b>	nicht vorhanden		vorhanden	
	n	%	n	%
Gruppe I	0	0	20	100
Gruppe II	0	0	20	100
Gruppe III	0	0	15	100
Gruppe IV	0	0	15	100
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

In Tabelle 5 werden die maximalen und die minimalen Mutans-Streptokokken-Zahlen dargestellt, welche in 1 ml Speichel der jeweiligen Gruppen gefunden wurden. Zudem wird eine Übersicht über die mittleren Keimzahlen der Gruppen gegeben. Dazu wurde außerdem die Standardabweichung der Werte berechnet.

Tab.5 Anzahl der Mutans-Streptokokken pro ml Speichel

<b>Mutans Streptokokken KBE/ml Speichel</b>				
	<b>Gruppe I</b>	<b>Gruppe II</b>	<b>Gruppe III</b>	<b>Gruppe IV</b>
Max	6.000.000	8.000.000	3.000.000	2.000.000
Min	1.000	2.000	4.000	20.000
Standardabw	±1.536.919	±2.415.454	±831.399	±754.628
Mittelwert	847.550	1.300.750	726.933	667.333

#### 4.3.4.2 Laktobazillen

In Tabelle 6 wird die Häufigkeit des Vorkommens von Laktobazillen im Speichel der Patienten aufgeführt.

Diese Keimgruppe ließ sich ebenfalls bei allen Kindern der verschiedenen Gruppen im Speichel nachweisen. Das sprach gleichfalls für die Eignung als Indikatorkeim für die nachfolgenden mikrobiologischen Untersuchungen der Zahnbürsten.

Tab.6 Laktobazillenbesiedelung des Speichels

<b>Laktobazillen</b>				
<b>Putzgruppen</b>	nicht vorhanden		vorhanden	
	n	%	n	%
Gruppe I	0	0	20	100
Gruppe II	0	0	20	100
Gruppe III	0	0	15	100
Gruppe IV	0	0	15	100
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

In Tabelle 7 werden die maximalen und die minimalen Werte der Laktobazillen aufgezeigt, welche in 1 ml Speichel der jeweiligen Gruppen nachgewiesen wurden. Neben der Übersicht über die mittleren Keimzahlen der Gruppen werden zudem die Standardabweichungen der Werte dargestellt.

Tab.7 Anzahl der Laktobazillen pro ml Speichel

<b>Laktobazillen KBE/ml Speichel</b>				
	<b>Gruppe I</b>	<b>Gruppe II</b>	<b>Gruppe III</b>	<b>Gruppe IV</b>
Max	10.000.000	10.000.000	3.000.000	4.000.000
Min	900	900	600	10.000
Standardabw	±2.214.213	±2.208.046	±781.272	±1.072.017
Mittelwert	837.045	715.745	419.240	630.667

#### 4.3.4.3 Candida spezies

In Tabelle 8 wird die Häufigkeit des Vorkommens von Candida spezies im Speichel der Patienten wiedergegeben. Bei 25% der Gruppe I, 25% der Gruppe II, 26,7% der Gruppe III und 13,3% der Gruppe IV ließen sich keine Pilze identifizieren. Insgesamt lag der Anteil der Patienten ohne Candidabesiedlung des Speichels bei 22,9 %.

Somit ergibt sich, dass bei 77,1 % der Kinder auch *Candida* spezies nachgewiesen worden sind.

Tab. 8 *Candida-speziesbesiedelung des Speichels*

<b>Candida spezies</b>				
<b>Putzgruppen</b>	nicht vorhanden		vorhanden	
	n	%	n	%
Gruppe I	5	25	15	75
Gruppe II	5	25	15	75
Gruppe III	4	26,7	11	73,3
Gruppe IV	2	13,3	13	86,7
<b>Gesamt</b>	<b>16</b>	<b>22,9</b>	<b>54</b>	<b>77,1</b>

In Tabelle 9 werden die maximalen und die minimalen Zahlenwerte der *Candida*-spezies dargelegt, welche in 1 ml Speichel der jeweiligen Gruppen gefunden wurden. Ausserdem werden sowohl die mittleren Keimzahlen als auch die Standardabweichungen der Keimzahlen dargestellt.

Tab. 9 *Anzahl der Candida-spezies pro ml Speichel*

<b>Candida spezies KBE/ml Speichel</b>				
	<b>Gruppe I</b>	<b>Gruppe II</b>	<b>Gruppe III</b>	<b>Gruppe IV</b>
Max	400.000	40.000	10.000	200.000
Min	0	0	0	0
Standardabw	±108.360	±11.145	±3.355	±54.841
Mittelwert	36.850	6.290	2.073	24.293

Da diese Keimgruppe nicht bei allen Kindern vorhanden war, konnte sie nur unter Vorbehalt als Indikatorkeim für die nachfolgenden mikrobiologischen Untersuchungen dienen.

Die Abbildung 33 stellt noch einmal die mittleren Keimzahlen aller Gruppen graphisch gegenüber. Es wird deutlich, dass die Mutans-Streptokokken in allen Gruppen am häufigsten zu finden waren. Danach folgen die Laktobazillen wohingegen die Candida-spezies durchweg die geringsten Werte aufweisen.

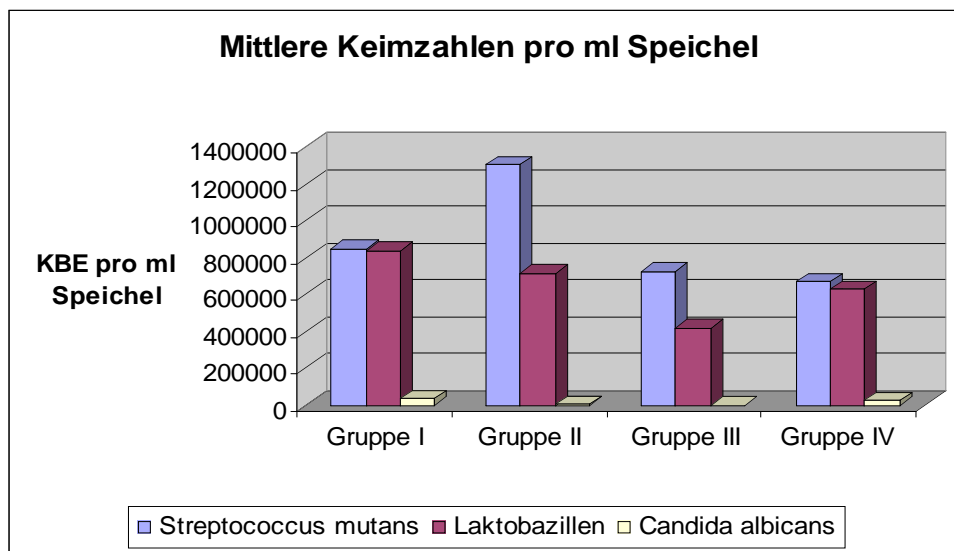


Abb. 33 Mittlere Keimzahlen pro ml Speichel

#### 4.4 Keimbesiedelung der Zahnbürsten nach Gebrauch

##### 4.4.1 Produkte A und B (Erwachsenenbürsten)

Die Tabelle 10 liefert eine Übersicht über die Keimzahlen aller Zahnbürsten der Produkte A und B.

Tab. 10 Keimzahl-Einzelwerte der Zahnbürsten A und B (KBE/ml)

Bürste	Zahnbürste A (Bündel-Stanzbesteckung)			Zahnbürste B (Bündel-Einspritzbesteckung)		
	S.mutans	Laktobazillen	C. albicans	S.mutans	Laktobazillen	C. albicans
1	60	100	0	20000	60	0
2	400	100	0	10000	700	0
3	200	100	0	1000	70	0
4	100	30	0	2000	50	0
5	100	0	0	1000	30	0
6	300	40	0	30	40	0
7	10000	30	0	1000	1000	0
8	600	70	0	5000	400	60
9	10000	600	0	6000	0	10
10	100	100	0	3000	300	0
11	1000	800	0	70	40	0
12	1000	200	0	100	10	0
13	1000	8000	10	1000	30	0
14	60	10	10	80	20	0
15	50	40	0	70	60	0
16	50	0	0	500	400	0
17	1000	200	20	300	30	0
18	100	100	0	200	200	0
19	6000	800	20	1000	900	40
20	3000	100	0	500	200	0

In Tabelle 10 wird deutlich, dass starke Schwankungen der Keimzahlen innerhalb der einzelnen Keimgruppen vorliegen. So reichen die Zahlen für *streptococcus mutans* von 50 bis zu 10000 KBE/ml für Zahnbürste A und von 30 bis 20000 KBE/ml für Zahnbürste B. Die Werte für die Laktobazillen fallen schon geringer aus, hier liegen die Werte bei 0 bis 8000 KBE/ml für Bürste A und bei 0 bis 1000 KBE/ml für



Bürste B. Die Candida-spezies waren nur vereinzelt nachzuweisen. Wenn sie vorhanden waren, dann auch nur in geringer Anzahl.

In Tabelle 11 werden die ermittelten mittleren Keimzahlen mit Standardabweichung, sowie die maximalen und minimalen Keimzahl-Werte von *streptococcus mutans*, Laktobazillen und Candida-Spezies bei der Erwachsenenzahnbürste A (Bündel-Stanzbesteckung) dargestellt.

Tab. 11 Keimzahlwerte Zahnbürste A

Werte KBE/ml	Zahnbürste A (Bündel-Stanzbesteckung)		
	<i>S. mutans</i>	Laktobazillen	<i>C. albicans</i>
Max	10000	8000	20
Min	50	0	0
Standardabw	±3146	±1766	±7
Mittelwert	<b>1756</b>	<b>571</b>	<b>4</b>

Die Mittelwerte bestätigen, dass *streptococcus mutans* am häufigsten gefunden wurde und die Zahlen für Laktobazillen und besonders Candida albicans deutlich geringer ausfielen. Die hohen Standardabweichungen für die bakteriellen Keime belegen, dass die gefundenen Werte großen Schwankungen unterliegen.

In Tabelle 12 werden die ermittelten mittleren Keimzahlen mit Standardabweichung, sowie die maximalen und minimalen Werte der Mikroorganismen bei der Erwachsenenzahnbürste B (Bündel-Einspritzbesteckung) aufgeführt.

Tab. 12 Keimzahlwerte Zahnbürste B

Werte KBE/ml	Zahnbürste B (Bündel-Einspritzbesteckung)		
	<i>S. mutans</i>	Laktobazillen	<i>C. albicans</i>
Max	20000	1000	60
Min	30	0	0
Standardabw	±4812	±306	±18
Mittelwert	<b>2643</b>	<b>227</b>	<b>7</b>

Anhand der Mittelwerte wird deutlich, dass für *streptococcus mutans* die höchsten Werte vorlagen, wohingegen die Werte für Laktobazillen und besonders *Candida albicans* deutlich niedriger waren. Auch für Produkt B bestätigen die hohen Standardabweichungen bei den bakteriellen Keimen, dass die Werte großen Schwankungen unterworfen sind.

Die grafische Umsetzung des Vergleichs der mittleren Keimzahlen aus den Tabellen 11 und 12 erfolgt in Abbildung 34.

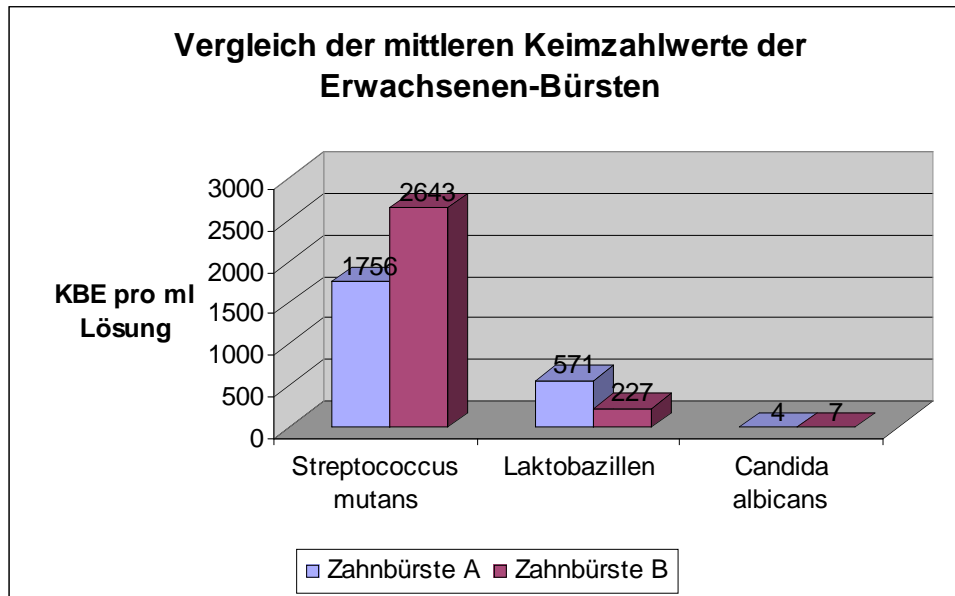


Abb. 34 Vergleich der mittleren Keimzahlwerte

Beim Vergleich der Bürstentypen A und B wird deutlich, dass Mutans Streptokokken die jeweils höchste Konzentration aufwiesen. Der Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ). Die Anzahl der Laktobazillen fiel für beide Bürsten deutlich geringer aus, aber auch hier war der Unterschied nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Der Nachweis von *Candida albicans* war bei beiden Bürstentypen nur in wenigen Fällen möglich. Die errechneten Mittelwerte konnten sich deshalb nur auf die Kinder, welche auch vorher schon *Candida albicans* im Speichel hatten, beziehen. Dort, wo sie vorhanden gewesen waren, ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bürstenprodukten A und B ( $p > 0,05$ ).

#### 4.4.2 Produkte C und D (Kinderzahnbürsten)

Die Tabelle 13 liefert eine Übersicht über die Keimzahlen aller Zahnbürsten der Produkte C und D.

Tab. 13 Keimzahl-Einzelwerte der Zahnbürsten C und D (KBE/ml)

Bürste	Zahnbürste C (Bündel-Stanzbesteckung)			Zahnbürste D (Bündel-Einfügebsteckung)		
	S.mutans	Laktobazillen	C. albicans	S.mutans	Laktobazillen	C. albicans
1	10000	6000	1000	400	200	0
2	1000	30	0	400	0	0
3	80	90	0	200	20	0
4	10000	300	0	100	60	10
5	100	200	0	4000	3000	0
6	600	60	0	10000	50	0
7	3000	2000	60	300	200	0
8	400	20	0	1000	200	400
9	10000	70	0	30	20	0
10	300	30	0	20000	7000	800
11	2000	40	20	400	200	0
12	500	1000	0	500	400	0
13	1000	200	10	2000	800	0
14	200	100	0	300	100	0
15	200	50	0	300	100	40

In Tabelle 13 wird ersichtlich, dass die Keimzahlwerte wie schon bei den Erwachsenen-Bürsten starken Schwankungen unterliegen. Die Unterschiede der Werte zueinander sind ebenfalls ähnlich. Hier bewegen sich die Zahlen für *streptococcus mutans* von 80 bis zu 10000 KBE/ml für Zahnbürste C und von 30 bis 20000 KBE/ml für Zahnbürste D. Für die Laktobazillen liegen die Werte mit 20 bis 6000 KBE/ml für Bürste C und 0 bis 7000 KBE/ml für Bürste D. Die Candida-spezies waren bei den Produkten C und D ebenso nur an wenigen Bürsten nachzuweisen. Wenn sie vorhanden waren, dann auch nur in kleinerer Anzahl.

In Tabelle 14 werden die maximalen und die minimalen Zahlenwerte der Keimarten dargelegt, welche sich in 1 ml Lösung des Bürstenproduktes C befanden. Außerdem werden die errechneten mittleren Keimzahlen mit Standardabweichungen aufgeführt.

Tab. 14 Keimzahlwerte Zahnbürste C

Werte KBE/ml	Zahnbürste C (Bündel-Stanzbesteckung)		
	<i>S. mutans</i>	Laktobazillen	<i>C. albicans</i>
Max	10000	6000	1000
Min	80	20	0
Standardabw	±3897	±1565	±299
Mittelwert	<b>2625</b>	<b>679</b>	<b>99</b>

Die Mittelwerte bestätigen, dass *streptococcus mutans* am häufigsten vorhanden gewesen ist und die Werte für Laktobazillen und besonders *Candida albicans* deutlich geringer waren. Die hohen Standardabweichungen belegen die hohen Schwankungen der vorliegenden Keimzahlen.

Tabelle 15 enthält die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte mit Standardabweichungen der Keimgruppen für das Zahnbürstenprodukt D.

Tab. 15 Keimzahlwerte Zahnbürste D

Werte KBE/ml	Zahnbürste D (Bündel-Einfügebesteckung)		
	<i>S. mutans</i>	Laktobazillen	<i>C. albicans</i>
Max	20000	7000	800
Min	30	0	0
Standardabw	±5449	±1867	±238
Mittelwert	<b>2662</b>	<b>823</b>	<b>96</b>

Die errechneten Mittelwerte machen deutlich, dass für *streptococcus mutans* die höchsten Zahlen vorlagen und die Werte für Laktobazillen und *Candida albicans* erheblich niedriger ausfielen. Die hohen Standardabweichungen resultieren aus den großen Schwankungen der gefundenen Einzelwerte bei den drei untersuchten Keimarten.

Der grafische Vergleich der mittleren Keimzahlwerte aus den Tabellen 14 und 15 erfolgt in der Abbildung 35.

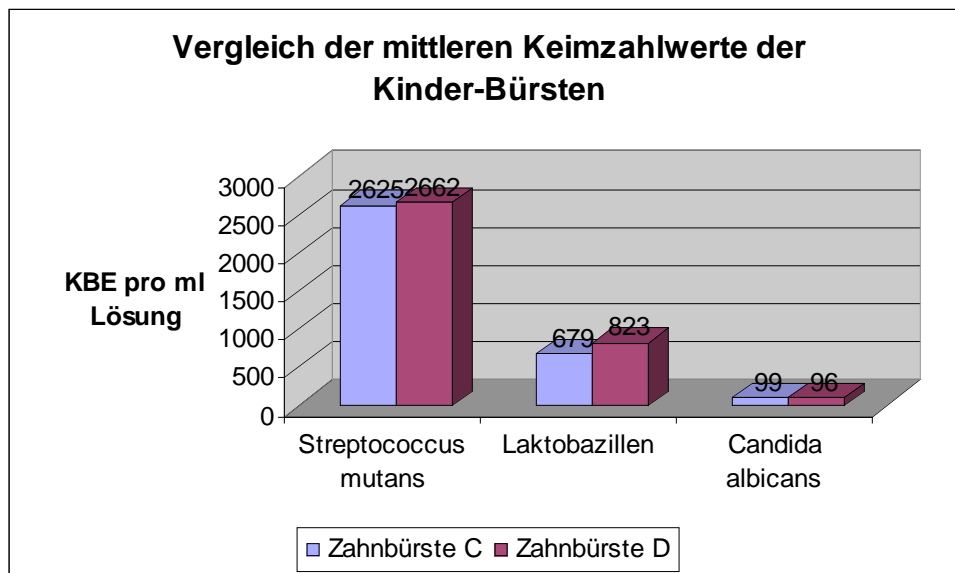


Abb. 35 Vergleich der mittleren Keimzahlwerte

Der Vergleich der Bürsten C und D macht deutlich, dass auch hier jeweils die Streptokokken zahlenmäßig vorherrschten. Der Unterschied war allerdings nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Auch bei den Laktobazillen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Bürstenprodukten ( $p > 0,05$ ). Candida albicans konnte wiederum nur auf wenigen Bürsten der beiden Produkte nachgewiesen werden. Dort, wo sie vorhanden waren, ergab sich kein signifikanter Unterschied bei dem gemittelten Keimwert zwischen C und D.

#### 4.4.3 Häufigkeit der Keimbesiedlung der untersuchten Zahnbürsten

In Tabelle 16 wird dargestellt, wie oft die Keime *Streptococcus mutans*, Laktobazillen und *Candida albicans* nach 2-wöchigem Gebrauch noch auf den unterschiedlichen Zahnbürsten-Produkten vorhanden waren.

Tab. 16 Häufigkeit der Keimbesiedlung bei den Zahnbürsten-Produkten nach 2-wöchigem Gebrauch

	<i>Streptococcus mutans</i>		Laktobazillen		<i>Candida albicans</i>	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Bürste A (n = 20)	20	100	18	90	4	20
Bürste B (n = 20)	20	100	19	95	3	15
Bürste C (n = 15)	15	100	15	100	4	26,7
Bürste D (n = 15)	15	100	14	93,3	4	26,7

Es wird deutlich, dass *Streptococcus mutans* auf allen untersuchten Zahnbürsten gefunden wurde. Laktobazillen waren immerhin noch auf mindestens 90% aller Bürsten vorhanden. Die Anwesenheit von *Candida albicans* fiel dagegen deutlich geringer aus. Dieser Hefepilz war lediglich auf 15 bis 26,7 % der analysierten Zahnbürsten nachzuweisen.



## 5 Diskussion

Die vorliegende Studie befasste sich mit der Frage, ob das Besteckungssystem einer Zahnbürste Auswirkungen auf das Überleben und die Retention verschiedener Mikroorganismen zeigt. In der Literatur wurde vielfach darauf hingewiesen, dass Mikroorganismen auf Zahnbürsten überleben können, nachdem diese mit der Mundhöhle in Berührung gekommen waren [COBB 1920, ZUHRT 1959, SCONYERS et al. 1979, MARCANO 1981, GLASS und LARE 1986, GLASS und JENSEN 1988, HINGST 1989, CAUDRY et al. 1995, VERRAN und LEAHY-GILMARTIN 1996, RAMLI 1998, TAJI und ROGERS 1998, BUNETEL et al. 2000, BÖSSMANN 2001, WARREN et al. 2001]. Im Unterschied zu den anderen Untersuchungen wurde hier eine Gegenüberstellung von drei verschiedenartigen Besteckungssystemen durchgeführt. Es handelte sich dabei um die Bündel-Stanzbesteckung (Bürste A und Kinderzahnbürste C), das Bündel-Einspritzverfahren (Bürste B) und das Bündel-Einfügeverfahren (Kinderzahnbürste D).

Dabei stellt die Bündel-Stanzbesteckung das älteste gebräuchliche Verankerungsverfahren dar, bei dem die Einzelfilamente gebündelt und schlaufenförmig um ein rechteckiges Metallplättchen gelegt und dann in einem Bohrloch verkeilt werden [ALTHAUS et al. 1990]. Dieses System bedingt vergleichsweise große Hohlräume, welche bis zur Oberfläche des Bürstenkopfes reichen und von daher die Hygienefähigkeit als fraglich erscheinen lassen [MÜLLER et al. 1992]. Im Gegensatz dazu steht die Bündel-Einspritzbesteckung, bei der die Einzelfilamente parallel gebündelt und dann in das vorher angelegte Bohrloch in Bürstenkopf eingebracht werden. Dort wird es dann mit Kunststoff umflossen, wodurch nach der Aushärtung Spalten und Hohlräume weitestgehend vermieden werden. In der Studie von ALTHAUS et al. [1990] fand eine Gegenüberstellung der Bündel-Stanzbesteckung mit der Bündel-Einspritztechnik statt. Es bestätigte sich, dass der eingeflossene Kunststoff bei der Einspritztechnik tatsächlich den Raum zwischen den Borsten und dem Bohrloch annähernd vollständig und spaltenfrei verschließt. Dadurch werden potentielle Retentionsnischen für Mikroorganismen und Speisereste vermieden, was eine deutliche Verbesserung der Reinigungsfähigkeit der Bürsten erwarten ließ. Dieser Vorteil des Einspritzverfahrens kommt jedoch nur dann zur Geltung, wenn es möglich ist, die Bohrlöcher im Borstenfeld nicht nur vollständig anzufüllen, sondern auch deren Oberfläche retentionsfrei zu glätten

[BIENEGRÄBER et al. 1995]. Das dritte hier untersuchte Verfahren stellt die Bündel-Einfügebesteckung dar, bei der die Büschel zunächst mit einer Bodenplatte aus Kunststoff versehen und danach unter Erhitzung des Bürstenkopfkunststoffes in das Bohrloch hineingepresst werden. Dieses System kann als Modifikation des Bündel-Einspritzprinzips angesehen werden.

Uns interessierte, ob die unterschiedlichen Besteckungssysteme wirklich Auswirkungen auf die Retention und Überlebensfähigkeit von Mikroorganismen haben, nachdem die Zahnbürsten zwei Wochen von Patienten benutzt worden waren. Dazu wurde vorab der Speichel aller teilnehmenden Patienten auf die Anwesenheit nachweisbarer kariogener Indikatorkeime analysiert. Da der Nachweis der Keime *Streptococcus mutans* und Laktobazillen bei allen Patienten gelang, konnten diese die Funktion als Testkeime uneingeschränkt erfüllen. Der Hefepilz *Candida albicans* ließ sich dagegen nur unter Vorbehalt als Indikatorkeim einsetzen, weil er nur in 77,1% der untersuchten Speichelproben vorkam. Da die Mundhygienedemonstrationen durch standardisiert kalibrierte Behandler erfolgten und durch den zweiwöchigen Gebrauch für alle Bürsten gleiche Voraussetzungen vorlagen, ließen sich relevante Aussagen erwarten. Zudem erfolgte das Auswaschen der Bürsten am Ende der Gebrauchsphase nach einem genau festgelegten Verfahren, da die Retention der Mikroorganismen durch das Ausmaß und die Zeitdauer des Reinigungsgeschehens wesentlich beeinflusst werden können [KOZAI et al. 1989, GLASS 1992, NELSON et al. 2000]. Nach KOZAI et al. [1989] lässt sich durch intensives Ausspülen der benutzten Zahnbürsten die Zahl der anhaftenden Mikroorganismen um mehr als die Hälfte reduzieren. Nicht möglich ist es allerdings, dadurch eine vollständige Entfernung aller Keime zu erreichen [KOZAI 1989]. Da Zahnpasten neben dem mechanischen auch einen antimikrobiellen Effekt erzielen [BENTHIN et al. 1994, QUIRYNEN et al. 2001, WARREN et al. 2001], wurde für die Putzdemonstrationen jeweils eine erbsgroße Menge einer fluoridierten Zahncreme verwendet. Die Bürsten wurden dann sofort nach Rückgabe durch die Probanden untersucht, da eine Verwahrung unter verschiedenen Luftfeuchtigkeiten und Umgebungstemperaturen durchaus Auswirkungen auf die Überlebensfähigkeit der Keime haben kann [GLASS 1992, GLASS und SHAPIRO 1993].

Die Ergebnisse unserer Studie machten schließlich deutlich, dass die unterschiedlichen Bündel-Besteckungssysteme keinen Einfluß auf Retention und

Überleben der Keime auf den gebrauchten Zahnbürsten hatten. Die ermittelte Anzahl von Mikroorganismen erbrachte somit auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prinzipien der Bündel-Stanzbesteckung, der Bündel-Einspritzbesteckung und der Bündel-Einfügebesteckung. Insofern bestätigte sich die Arbeitshypothese nicht, wonach die Bündel-Stanzbesteckung hinsichtlich der Hygienefähigkeit im Vergleich zu den beiden anderen Verfahren unterlegen sein könnte. Im Rahmen einer zeitgleich durchgeführten Studie [WETZEL et al. 2005] wurden die gleichen Zahnbürstenprodukte nach einmaligem Putzen zu unterschiedlichen Trocknungszeiten (0h, 2h und 8h) auf die gleichen Keime hin untersucht. Auch hier ergaben sich hinsichtlich der Keimretention keine signifikanten Unterschiede zwischen der Bündel-Stanzbesteckung, der Bündel-Einspritzbesteckung und der Bündel-Einfügebesteckung.

Auf allen zurückgebrachten Zahnbürsten der verschiedenen Besteckungssysteme war *Streptococcus mutans* in unterschiedlich hoher Anzahl anzutreffen. Laktobazillen befanden sich auf allen Kinderzahnbürsten des Typs C (Bündel-Stanzbesteckung), auf 90% der Bürsten des Typs A (Bündel-Stanzbesteckung), auf 95% der Bürsten des Typs B (Bündel-Einspritzprinzip) und auf 93,3% der Kinderzahnbürsten des Typs D (Bündel-Einfügeprinzip). Mit dem Pilz *Candida albicans* waren dagegen nur 20% der Bürsten des Typs A, 15% der Bürsten des Typs B, 26,7% der Bürsten des Typs C und 26,7% der Bürsten des Typs D kontaminiert.

Aufgrund der Rahmenbedingungen dieser Studie und der unterschiedlichen Compliance der Patienten bzw. deren Eltern war es nicht immer möglich, die Trocknungszeiten der Zahnbürsten nach der letzten Benutzung deckungsgleich sicherzustellen. Diesbezüglich kamen Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass die Keimzahlen mit fortschreitender Trocknungszeit abnehmen [DAYOUB et al. 1977, PETERS 1980, GLASS und JENSEN 1988, KOZAI et al. 1989, BÖSSMANN 2001]. In einer weiteren Studie konnte dargelegt werden, dass der Keim *Streptococcus mutans* auf den untersuchten Bürsten auch dann noch vorherrschte, nachdem diese sechs Stunden lang getrocknet worden waren [KOZAI et al. 1989]. SVANBERG [1978] und BUNETEL et al. [2000] belegten selbst nach einer Trocknungsdauer von 24 Stunden noch die Anwesenheit von Mutans Streptokokken auf den Bürstenköpfen. Die Resultate der vorliegenden Studie zeigen gleichermaßen, dass hauptsächlich *Streptococcus mutans* auf den untersuchten Bürsten nachzuweisen

war und Laktobazillen und *Candida albicans* - wenn überhaupt - nur in deutlich geringerer Anzahl. Dabei war es unerheblich, ob die untersuchte Zahnbürste über die Bündelstanz-Besteckung, das Bündel-Einspritzverfahren oder das Bündel-Einfügeverfahren verfügte. Die Problematik der Retention von überlebensfähigen Mikroorganismen auf Bürstenköpfen scheint somit mehr in der Anordnung der Borsten auf dem Besteckungsfeld begründet zu sein. Diese erfolgte bei allen untersuchten Produkten nach dem multi-tufted Prinzip, bei dem die einzelnen Filamente zu Büscheln zusammengefasst und dann im engen Abstand zueinander im Bürstenkopf angeordnet werden. Hierzu gaben McCAULY [1946] und ZUHRT [1959] zu bedenken, dass genügend Abstand zwischen den einzelnen Büscheln belassen werden müsse, um eine gute Hygienefähigkeit der Bürsten zu gewährleisten. Allerdings kommt es nicht nur auf den vorhandenen Zwischenraum unter den Borstenbündeln, sondern auch auf die Anzahl der Einzelfilamente in den Büscheln an. Eine weitere Studie legte Zusammenhänge zwischen der Anzahl der einzelnen Filamente in einem Büschel und der Zahl der daran anhaftenden Herpesviren dar. War ein Borstenbüschel aus einer größeren Anzahl Filamenten aufgebaut, so wurde die Anhaftung der Viren dadurch begünstigt [GLASS und JENSEN 1988]. Die Beeinträchtigungen der Hygiene sind also darauf zurückzuführen, dass die Borsten in Form von Bündeln auf das Besteckungsfeld aufgebracht werden. Die Trocknung der Bürste kann dadurch nur sehr langsam erfolgen und das daraus resultierende feuchte Milieu bietet Mikroorganismen ausreichende Möglichkeiten, sich hier festzusetzen und längere Zeit im überlebensfähigen Zustand zu verbleiben. Auch für die Mikroorganismen der transienten Mundflora ergibt sich somit eine erhöhte Überlebensdauer [DAYOUB et al. 1977, GLASS und SHAPIRO 1993, MALMBERG et al. 1994, TAJI und ROGERS 1998].

Ein alternatives Besteckungssystem mit günstigerer Hygienefähigkeit könnte demnach darin bestehen, dass die Borstenfilamente nur einzeln und berührungsfrei auf dem Besteckungsfeld angeordnet werden. Dazu müsste aber das gängige multi-tufted Prinzip mit seiner büschelweisen Anordnung der Borsten aufgegeben werden. WETZEL et al. [2005] untersuchten so auch neben den hier analysierten Bürsten zusätzlich einen Bürsten-Prototypen, welcher eine Einzelfilament-Einspritzbesteckung aufwies. Nach einmaliger Benutzung ließen die Keimzahlen der Bürsten A, B, C und D mit Bündelbesteckung weder sofort nach Gebrauch noch nach 2 und

8 Stunden Trocknungszeit signifikante Unterschiede erkennen. Dagegen ergaben sich zwischen Produkt A (Bündel-Stanzbesteckung) und dem Prototypen und Produkt B (Bündel-Einspritzverfahren) und dem Prototypen jeweils signifikante Unterschiede, wobei das Produkt mit der Einzelfilament-Einspritzbesteckung in beiden Fällen die geringere Keimzahlen (MS und Lb) aufwies.

Auch die zweite Arbeitshypothese dieser Studie konnte nicht bestätigt werden, da die beiden Einschweißverfahren trotz fehlender Spalten und Hohlräume im Bürstenkopf nach einer 2-wöchigen Gebrauchsdauer bezüglich der Retention von Mikroorganismen keinen signifikanten Vorteil gegenüber der Metallplättchenverankerung erbrachten.

Doch welche Möglichkeiten bieten sich neben der Borstenbesteckung noch zu einer Verbesserung der Hygienefähigkeit von Zahnbürsten an? Diesbezüglich fanden MEHTA et al. [2007] heraus, dass die Aufbewahrung der Zahnbürste über Nacht in einer 0,2% „Chlorhexidin-Glukonat“-Lösung die bakterielle Kontamination effektiv vermindert. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch SATO et al. [2005], indem sie antimikrobielle Lösungen auf benutzte Bürsten sprühten. Dabei erreichte die „Chlorhexidin“-Lösung auch hier die wirksamste Keimreduktion. Auch NELSON-FILHO et al. [2006] befassten sich mit verschiedenen Desinfektionsmitteln, die auf benutzte Zahnbürsten gesprüht wurden. Dabei zeigte die „Periogard“-Lösung (antibakterieller Wirkstoff: 0,05% Cetylpyridiniumchlorid) die beste Wachstums- hemmung auf Mutans-Streptokokken, die als Testkeime dienten. Eine weitere Studie [EFSTRATIOU et al. 2007] kam zu dem Ergebnis, dass eine Präparation der Borsten mit Triclosan keinen Einfluss auf die bakterielle Besiedlung der Zahnbürste hat, sehr wohl aber die Verwendung einer Zahnpaste mit Triclosan als antibakteriellen Wirkstoff, welche die Kontamination signifikant verringern konnte. Hierzu sei angemerkt, dass bei dem Herstellungsverfahren der Bürsten die halogenorganische Verbindung Triclosan als Desinfektionsmittel direkt in den Kunststoff eingearbeitet wird. Auch in der Studie von QUIRYNEN et al. [2003] konnten die mit Triclosan beschichteten Borsten keine Reduktion der Bakterien erzielen. Die parallel untersuchten Zahnpasten vermochten dagegen die Anzahl der Mikroorganismen auf den Bürsten signifikant zu reduzieren. Dabei war die antibakterielle Wirkung jedoch von dem jeweiligen Wirkstoff abhängig. Und hier ließ die Paste, welche zwei Fluoride (AmF/SnF<sub>2</sub>) enthielt, die beste Wirksamkeit erkennen. Die Wirkung einer „Triclosan“-haltigen Zahnpaste auf Mutans-

Streptokokken wurde schließlich von NELSON-FILHO [2004] untersucht. Man fand, dass die Zahl der Bakterien auf den Bürstenköpfen durch die Verwendung dieser Paste signifikant reduziert wurde. Die Studie von GOLDSCHMIDT et al. [2004] befasste sich dagegen mit der antibakteriellen Wirkung der Substanz „Microban“ auf Parodontitis-Erreger, welche sich auf benutzten Zahnbürsten befanden. Diese organische Verbindung ähnelt dem Triclosan und wird bei der Polymerherstellung in die Molekularstruktur der Borsten eingearbeitet. Hierbei wird Microban zu einem festen Bestandteil des Gesamtproduktes und das mikrobielle Wachstum durch eine elektrochemische Reaktion unterbrochen. Es ließ sich allerdings nur eine leichte Keimreduktion beobachten, die statistisch nicht relevant war. SPOLIDORIO et al. [2003] untersuchten den Einfluss des Borstenträger-Kunststoffmaterials auf Mutans-Streptokokken. Dazu wurden durchsichtige mit undurchsichtigen Bürsten verglichen. Über die Trocknungszeit hinweg reduzierte sich bei beiden Bürsten die Zahl der Keime, wobei die transparente Bürste eine sichtlich bessere Keimreduktion zeigte als die opake Bürste. Der Unterschied war allerdings statistisch nicht signifikant.

Die verschiedenen Möglichkeiten zur Desinfektion sind auch vor dem Hintergrund interessant, als dass es bei der Verwechslung von Zahnbürsten zu einer Keimübertragung von einem Menschen auf den anderen kommen kann. LOCK et al. [2006] legten in ihrer Studie dar, dass zumindest das theoretische Risiko besteht, auch Hepatitis C-Viren auf diesem Wege weiterzugeben.

Zusammenfassend lässt sich schließen, dass die Retention und das Überleben von Keimen auf Zahnbürsten vorwiegend von der Anordnung der einzelnen Borsten-Filamente abhängig sein wird. Auch durch die vorliegende Studie konnten keine signifikanten Unterschiede in der Keimbesiedlung bei den verschiedenen Bündel-/Büschelbesteckungen festgestellt werden. Interessant erscheint jedoch, dass bei einem Zahnbürsten-Prototyp mit Einzelfilament-Einspritzbesteckung nach einmaligem Gebrauch deutlich günstigere Ergebnisse auftraten, als bei Bürsten mit Büschelbesteckung [WETZEL et al. 2005]. Hier sehen wir die Möglichkeit weiterer Untersuchungen der Bürsten mit Einzelfilament-Besteckung auch nach längerem Gebrauch.

## 6 Zusammenfassung

Durch das wiederholte Einbringen der Zahnbürste in die Mundhöhle kann es auf dem Bürstenkopf zur Anhaftung und zum Wachstum pathogener Keime kommen. Diese können bei erneuter Anwendung der Bürste wieder in die Mundhöhle eingebracht werden und dort eine Reinfektion verursachen. Dabei stellt das Besteckungsfeld der Zahnbürste einen Schwachpunkt der Hygienefähigkeit dar. Die vorliegende Untersuchung befasste sich daher mit der Fragestellung, ob sich zwischen den derzeit gebräuchlichen Besteckungssystemen nach zweiwöchigem Gebrauch der Zahnbürsten Unterschiede hinsichtlich der Retention und Überlebensfähigkeit für Mikroorganismen ergeben.

Es wurden jeweils 15 bzw. 20 Bürsten folgender Zahnbürsten-Produkte überprüft: A und C: Bündel-Stanzbesteckung (Befestigung der Borstenbüschel durch Metallplättchen); B: Bündel-Einspritzbesteckung; D: Bündel-Einfügebesteckung.

Die genauere Kennzeichnung der einzelnen Besteckungsprinzipien und der Endbearbeitung der Borstenenden erfolgte mittels makrofotografischer und rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen. Für die zweiwöchige Gebrauchsperiode der Zahnbürsten konnten 70 Kinder im Alter von 3-14 Jahren im Rahmen des standardisierten Oralhygieneprogrammes mit Einverständnis der Eltern gewonnen werden. Dafür erhielten die Jungen und Mädchen in zufälliger Zuordnung eine fabrikneue Zahnbürste für den häuslichen Gebrauch. Nach einer Verwendungsdauer von zwei Wochen erfolgte die Untersuchung der Bürsten auf Besiedelung mit Mutans Streptokokken (MS), Laktobazillen (Lb) und Candida spezieis. Die Mikroorganismen wurden in einem Ultraschall-Bad mit Sputasol-Lösung aus den Bürstenköpfen herausgelöst. Die Analyse der gewonnenen Keimlösung erfolgte mittels CRT bacteria Tests und Sabouraud Agar nach Bebrütung bei 37°C über 48 h im Wärmeschrank.

Trotz unterschiedlicher Hohlraumbildungen bei den untersuchten Bündelbesteckungsverfahren im Kunststoffbürstenkopf ließen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der ermittelten Keimzahlen erkennen. Als sicherster Indikatorkeim erwies sich dabei *Streptococcus mutans*, der produktübergreifend nach der Putzperiode noch auf allen Zahnbürsten vorhanden war. Für Laktobazillen traf dies noch für 90-100% der Bürsten zu. Die Ergebnisse belegen, dass das jeweilige Bündel-Besteckungsprinzip keinen signifikanten Einfluss auf die Retention und Vermehrung von Mikroorganismen auf gebrauchten Zahnbürstenköpfen ausübt. Dies lässt

sich auf die bei allen Bürstenprodukten enge Anordnung der Borstenfilamente nach dem „multi-tufted-Prinzip“ zurückführen.

Eine mögliche Verbesserung der Hygiene-Fähigkeit von Zahnbürsten lässt sich insofern nur durch das alternative Prinzip der Einzelfilamentbesteckung erwarten.



## 7 Summary

Repeated introduction of the toothbrush into the mouth cavity can lead to the adherence and growth of pathogenic microbes on the brush head. These microbes can be returned to the mouth cavity with re-use of the brush and cause recontamination. The bristle pad of the toothbrush therefore represents a weak point in the ability to maintain hygiene. The current investigation deals with the question of whether there are differences between different bristle anchoring systems regarding the retention and survival of micro-organisms after use for a number of weeks.

In each case 15 or 20 brushes of the following toothbrush products were tested: A and C: Staple-set tufting (fixing of the bristle bundles using thin metal plates); B: In-mould tufting; D: Tuft fusion.

More exact identification of the individual bristle anchoring systems and the final processing of the bristle ends was done using macro photographic and scanning electron microscopic images. For the two weeks' use of the toothbrushes 70 children between 3 and 14 years of age were recruited with their parents' consent as part of a standardised oral hygiene programme. For this purpose the boys and girls were randomly allocated a virgin toothbrush for use at home. After two weeks' use, the brushes were examined for colonisation with *Mutans streptococci* (MS), lactobacilli (Lb) and *Candida* species. The micro-organisms were removed from the brush heads in an ultrasound bath with Sputasol solution. This microbe solution was analysed by means of CRT bacteria tests and Sabouraud agar after incubation at 37°C for 48 hours in an incubator.

Despite varying space formation between the bristle anchoring systems examined, in synthetic brush heads no significant differences regarding the numbers of microbes could be detected. The most reliable indicator microbe proved to be *Streptococcus mutans*, which was still present on all toothbrushes after the usage period regardless of product type. For lactobacilli this applied for 90–100% of the brushes. The results show that a particular bristle anchoring system exerts no significant influence on the retention and reproduction of micro-organisms on used toothbrush heads. This can be traced back to the close arrangement of the bristle filaments across all brush products in accordance with the 'multitufted principle'.

Any possible improvement in the ability to maintain the cleanliness of toothbrushes can only be expected using the alternative principle of individual filament anchoring.

## 8 Literaturverzeichnis

1. ALTHAUS, D., KOCKAPAN, C., WETZEL, W.E.: Borstenabrundung und Besteckung bei Kinderzahnbürsten. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100, 159 (1990).
2. BANOCZY, J., GABRIS, K., NYARASDY, I., PIENIHÄKKINEN, K., RIGO, O., SCHEININ, A.: Zusammenhang zwischen Laktobazillenkeimzahl, Candida-Zahl des Speichels und Karies. Dtsch Zahn Mund Kieferheilk 71, 787 (1983).
3. BAUME, L. J.: Allgemeine Grundsätze für eine internationale Normung der Karies-Statistiken (Federation Dentaire Internationale). Int Dent J 12, 279 (1962).
4. BENTHIN, K., GERCKENS, B., KRÜGER, W.: Vergleichende Untersuchungen zur antimikrobiellen Wirksamkeit von Zahnpasten und Zahnpastenbestandteilen. Dtsch Zahnärztl Z 49, 409 (1994).
5. BERGER, U., HUMMEL, K.: Einführung in die Mikrobiologie und Immunologie. 2. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München– Berlin 1964.
6. BERNAL, S., MARTIN MAZUELOS, E., GARCIA, M., ALLER, A.I., MARTINEZ, M. A., GUTIERREZ, M. J.: Evaluation of CHROMagar Candida medium for the isolation and presumptive identification of species of Candida of clinical importance. Diagn Microbiol Infect Dis 24, 201 (1996).
7. BIENENGRÄBER, V., SPONHOLZ, H., HAGIN, J.: Abrundungs- und Besteckungsqualität der Borsten fabrikneuer und benutzter Erwachsenenzahnbürsten. Dtsch Zahnärztl Z 50, 517 (1995).
8. BOCK, E.: Bürsten und Pinsel. Nagler, Bechhofen, 1983.
9. BÖSSMANN, H. K.: Zahnbürsten und ihr mögliches Infektionsrisiko. Zahnärztl Mitt 91, 50 (2001).

10. BRÄNDLE, C. R., MENGHINI, G.D., MARTHALER, T.M.: Kariesbestimmung bei Schulkindern aufgrund mikrobiologischer-chemischer Mundflüssigkeitsanalysen und des klinischen Zahnstatus. Schweiz Monatsschr Zahnmed 101, 993 (1991).
11. BUCHMANN, R.: Ist die bakterielle Zahnbürstenbesiedelung ein Gesundheitsrisiko? Quintessenz 37, 1887 (1986).
12. BUDDECKE, E.: Biomedizinische Grundlagen der Zahnmedizin. W. de Gruyter, Berlin 1981.
13. BÜHL, A., ZÖFEL, P.: SPSS Version 8. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. Addison-Wesley, Bonn 1999.
14. BUNETEL, L., TRICOT-DOLEUX, S., BONNAURE-MALLET, M.: In vitro evaluation of the retention of three species of pathogenic microorganisms. Oral Microbiol Immunol 15, 313 (2000).
15. CARLSSON, J., GRAHNEN, H., JONSSON, G.: Lactobacilli and Streptococci in the mouth of children. Caries Res 9, 333 (1975).
16. CAUDRY, S. D., KLITORINOS, A., CHAN, E.C.: Contaminated toothbrushes and their disinfection. J Can Dent Assoc 61, 511 (1995).
17. COBB, C. M.: Toothbrushes as a cause of repeated infections of the mouth. J Boston Med Surg 183, 263 (1920).
18. CREWS, K., O'HARA, J., GORDY, F., PENTON, N.: The Bass technique: Charles Cassidy Bass` legacy. Miss Dent Assoc J 51, 18 (1995).
19. DAYOUB, M. B., RUSILKO, D., GROSS, A.: Microbial contamination of toothbrushes. J Dent Res 56, 706 (1977).

20. DE SOET, J. J., DE GRAAFF, J.: Microbiology of carious lesions. Dent Update 8, 319 (1999).
21. EFSTRATIOU, M., PAPAIOANNOU, W., NAKOU, M., KTENAS, E., VROTSOS, I.A., PANIS, V. : Contamination of a toothbrush with antibacterial properties by oral microorganisms. J Dent. 2007 Apr;35(4):331-7. Epub 2006 Nov 22.
22. EINWAG, J., PIEPER, K.: Kinderzahnheilkunde. 1. Aufl., Praxis der Zahnheilkunde spezial, Urban & Schwarzenberg, München– Wien– Baltimore 1997.
23. FAUCHARD, P.: Le chirurgien dentiste. Paris 1728
24. FÖRSTER, C.: Vergleich der mikrobiellen Besiedlung von Zahnbürsten mit Bündel- und Einzelfilamentbesteckung. Med Diss, Giessen 2003
25. GIBBONS, R. J.: Microbial ecology: Adherent interactions which may affect microbial ecology in the mouth. J Dent Res 63, 378 (1994).
26. GLASS, R. T., LARE, M. M.: Toothbrush contamination: a potential health risk? Quintessenz Int 17, 39 (1986).
27. GLASS, R. T., JENSEN, H. G.: More on contaminated toothbrushes– a viral story. Quintessenz Int 19, 713 (1988).
28. GLASS, R. T.: The infected toothbrush, the infected denture, and transmission: A review. Compend Contin Educ Dent 8, 592 (1992) a.
29. GLASS, R. T.: Toothbrush types and retention of microorganisms: how to choose a biologically sound toothbrush. J Okla Dent Assoc 82, 26 (1992) b.
30. GLASS, R.T., SHAPIRO, S.: Oral inflammatory disease and the toothbrush. J Ala Dent Assoc 77, 12 (1993).

31. GLASS, R. T., JENSEN, H. G.: The effectiveness of the u-v toothbrush sanitizing device in reducing the number of bacteria, yeasts and viruses on toothbrushes. J Okla Dent Assoc 84, 24 (1994).
32. GOLDING, P. S.: The development of the toothbrush. Dent Health 21, 10 (1982).
33. GOLDSCHMIDT, M. C., WARREN, D. P., KEENE, H. J., TATE, W. H., GOWDA, C.: Effects of an antimicrobial additive to toothbrushes on residual periodontal pathogens. J Clin Dent 2004 15, 66 (2004).
34. GÜLZOW, H. J.: Die Mundhygiene mit der Zahnbürste. Dtsch Zahnärztl Z 27, 254 (1972).
35. GÜLZOW, H. J.: Über den Stellenwert des Zähneputzens in der Oralprophylaxe. Hess Zahnarzt 24, 180 (1985).
36. GÜLZOW, H. J., HELLWIG, E., HETZER, G.: Empfehlungen zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden. Stellungnahme der DGZMK (2002).
37. HARTLMAIER, K. M.: Zahn- und Mundbürsten. Zahnärztl Mitt 44, 592 (1954).
38. HELLWIG, E., KLIMEK, J., ATTIN, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. 3. Aufl., Urban & Fischer, München– Jena 1999.
39. HINGST, V.: Die Bedeutung der Kontamination von Zahnpflegeartikeln. Ergebnisse einer Feldstudie. Zentrabl Bakteriol Mikrobiol Hyg (B) 187, 337 (1989).
40. HIRSCH, C.: Kommerzielle Speicheltests zur Kariesrisikobestimmung bei Kindern und Jugendlichen. Dtsch Zahn Mund Kieferheilk 12, 786 (1999).

41. IMFELD, T., SENER, B., SIMONOVIC, I.: In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. Acta Med Dent Helv 5 , 37 (2000).
42. JUNG, M., KOCKAPAN, C., WETZEL, W.E.: Wechselkopfzahnbürsten: Borstenabrundung und– verankerung. Acta Med Dent Helv 1, 187 (1996).
43. JUNG, M.: Zur Qualität der Borstenabrundung von vier Erwachsenenzahnbürsten. Quintessenz 46, 491 (1995).
44. KIELBASSA, A. M.: Zur Frage der Auswahl einer geeigneten Kinderzahnbürste. Zahnärztl Welt 109, 314 (2000).
45. KIELBASSA, A. M., REISTER, J. P.: Zur Frage der Indikation elektrischer Zahnbürsten im Kindesalter. Oralprophylaxe 23, 76 (2001).
46. KNEIST, S., HEINRICH-WELTZIEN, R., TIETZE W., STÖSSER, L.: Die mikrobielle Mundhöhlenbesiedelung als Grundvoraussetzung des Kariesrisikos- Eine Übersicht der Befunde der Kinder aus der Erfurter Studie. In: STÖSSER, L.: Kariesdynamik und Kariesrisiko. Quintessenz, Berlin 1998.
47. KÖHLER, B., BRATTHALL, D., KRASSE, B.: Preventive Measures in mothers influence the establishment of the bacterium *Streptococcus mutans* in their infants. Arch Oral Biol 28, 225 (1983).
48. KÖNIG, K. G.: Karies und Parodontopathien. Thieme, Stuttgart– New York 1987.
49. KOHLER, B., BRATTHALL, D.: Intrafamilial levels of *Streptococcus mutans* and some aspects of bacterial transmission. Scand J Dent Res 86, 35 (1978).
50. KOZAI, K., IWAI, T., MIURA, K.: Residual contamination of toothbrushes by microorganisms. J Dent Child 5, 2001 (1989).

51. KRAMER, E., GIERIG, R., KLEMKE, J.: Standortbestimmung der zahnärztlichen Prophylaxe. ZWR 104, 9 (1995).
52. KRETER, F., PANTKE, H.: Einführung in die Zahnheilkunde mit Grenzinformationen. Quintessenz, Berlin 1979.
53. LEIMGRUBER, C.: Etwas über Zahnbürsten. Schweiz Monatsschr Zahnheilk 61, 590 (1951).
54. LOCK, G., DISCHERL, M., OBERMEIER, F., GELBMANN, C. M., HELLERBRAND, C., KNÖLL, A., SCHÖLMERICH, J., JILG, W.: Hepatitis C-contamination of toothbrushes: myth or reality? J Viral Hepat. 13, 571 (2006).
55. MacGREGOR, D. M., RUGG-GUNN, A.J.: A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. J Periodontol Res 14, 225 (1979).
56. MAKUCH, A.: Die Entwicklung von Fertigkeiten zur Zahn- und Mundpflege im Vorschulalter (I). Oralprophylaxe 16, 147 (1994).
57. MAKUCH, A.: Die Entwicklung von Fertigkeiten zur Zahn- und Mundpflege im Vorschulalter (II). Oralprophylaxe 17, 18 (1995).
58. MALMBERG, E., BIRKHED, D., NORVENIUS, G., NOREN, J. G., DAHLEN, G.: Microorganisms on toothbrushes at day-care centers. Acta Odontol Scand 52, 94 (1994).
59. MARCANO, C.: Toothbrush contamination in the ecology of *Candida albicans*. Mycopathologia 74, 135 (1981).
60. McCAULEY, H. B.: Toothbrush, toothbrush materials and design. J Am Dent Assoc 33, 283 (1946).
61. MEHTA, A., SEQUEIRA, P.S., BHAT, G.: Bacterial contamination and decontamination of toothbrushes after use. N Y State Dent J. 73, 20 (2007).



62. MISRA, S., PERCIVAL, R. S., DEVINE, D. A., DUGGAL, M. S.: A pilot study to assess bacteraemia associated with tooth brushing using conventional, electric or ultrasonic toothbrushes. *Eur Arch Paediatr Dent*. 8 (Suppl 1), 42 (2007).
63. MÜLLER, H. P., LANGE, D.E., MÜLLER, R. F.: *Actinobacillus actinomycetemcomitans* contamination of toothbrushes from patients harbouring the organism. *J Clin Periodontol* 16, 388 (1989).
64. MÜLLER, P. J., KOCKAPAN, C., WETZEL, W. E.: Borstenverankerung und Borstenabrundung bei Erwachsenenzahnbürsten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 38 (1992).
65. NELSON, F., MACARI, S., FARIA, G., ASSED, S., ITO, I. Y.: Microbial contamination of toothbrushes and their decontamination. *Paediatr Dent* 22, 381 (2000).
66. NELSON-FILHO, P., FARIA, G., DA SILVA, R.A., ROSSI, M.A., ITO, I.Y.: Evaluation of the contamination and disinfection methods of toothbrushes used by 24-48-month-old children. *J Dent Child (Chic)*. 73, 152 (2006).
67. NELSON-FILHO, P., ISPER, A. R., ASSED, S., FARIA, G., ITO, I. Y.: Effect of Triclosan on toothbrush contamination. *Pediatr Dent*. 26, 11 (2004).
68. NETUSCHIL, L., MICHOU, A. M., RIETHE, P.: Besteckungsmaterialien und Fremdauflagerungen: Vergleichende bakteriologische Untersuchungen. *Kariesprophylaxe* 3, 25 (1981).
69. NOGA, K., LANGE, D. E., ALAI-OMID, W.: Mykologische Untersuchungen an Zahnbürsten. *Dtsch Zahnärztl Z* 31, 396 (1976).
70. OGASAWARA, T., WATANABE, T., KASAHARA, H.: Readiness for tooth-brushing of young children. *J Dent Child* 59, 353 (1992).

71. OHNSORGE, J., HOLM, R.: Rasterelektronenmikroskopie. Eine Einführung für Mediziner und Biologen. Thieme, Stuttgart 1973.
72. PATENTSCHRIFT: Reichspatentamt, Berlin, Deutschland, Patentnr. 355645, 1922.
73. PATENTSCHRIFT: United States Patent Office, Alexandria, USA, Patentnr. 2,298,156, 1942.
74. PATENTSCHRIFT: United States Patent Office, Alexandria, USA, Patentnr. 3,026,146, 1962.
75. PATENTSCHRIFT: Bundespatentamt, München, Deutschland, Patentnr. DE 3403341, 1984.
76. PATENTSCHRIFT: Europäisches Patentamt, München, Deutschland, Patentnr. EP 0346646 B2, 1989.
77. PATENTSCHRIFT: Europäisches Patentamt, München, Deutschland, Patentnr. EP 0759711 B1, 1995.
78. PATENTSCHRIFT: Internationale Anmeldung bei der Weltorganisation für geistiges Eigentum, Genf, Schweiz, Patentnr. PCT 96/27308, 1996.
79. PETERS, S.: Die Zahnbürste – Steckbrief unseres wichtigsten Pflegeinstruments. Quintessenz 9, 9 (1980).
80. PETZOLD, D., FINKE, C.: Wie werden elektrische Zahnbürsten von Klein- und Vorschulkindern akzeptiert? Prophylaxe-Impuls 5, 58 (2001).
81. PINE, C. M., McGOLDRICK, BURNSIDE, G., CURNOW, M. M., CHESTERS, R. K., NICHOLSON, J., HUNTINGTON, E.: An intervention programme to establish regular toothbrushing: understanding parents' beliefs and motivating children. Int Dent J 50, 312 (2000).

82. POTENTE, H., GABLER, K.: Schweißen unterschiedlicher Thermoplaste. Plastverarbeiter 4, 203 (1980).
83. PRIEHN-KÜPPER, S.: Borsten in Bewegung. Zahnärztl Mitt 88, 26 (1998).
84. QUIGLEY, G. A., HEIN, J. W.: Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. J Am Dent Assoc 65, 26 (1962).
85. QUIRYNEN, M., DE SOETE, PAUWELS, M., GIZANI, S., VAN MEERBEEK, B., VAN STEENBERGHE, D. : Can toothpaste or a toothbrush with antibacterial tufts prevent toothbrush contamination? J Periodontol. 74, 312 (2003).
86. QUIRYNEN, M., DE SOETE, PAUWELS, M., GOOSSENS, K., TEUGHEL, W., VAN ELDERE, J., VAN STEENBERGHE, D.: Bacterial survival rate on tooth- and interdental brushes in relation to the use of toothpaste. J Clin Periodontol 28, 1106 (2001).
87. RAMFJORD, S. P.: Indices for prevalence and incidence of periodontal disease. J Periodont 30, 51 (1959).
88. RAMLI, R.: Toothbrush contamination. Aust Dent J 43, 368 (1998).
89. REICH, E: Epidemiologische Studien. Stellungnahme der DGZMK. Dtsch Zahnärztl Z 52, 3 (1997).
90. REIHLEN, E.: Altersgerechte Zahnpflegetechniken. Zahnärztl Mitt 80, 1570 (1990).
91. REIMER, C., PFEFFERKORN, G.: Rasterelektronenmikroskopie. Springer, Heidelberg– New York 1977.
92. RIETHE, P., MUNZ, H. U.: Besteckungsmaterialien und Fremdauflagerungen. Kariesprophylaxe 1, 97 (1979).

93. RIETHE, P.: Die Quintessenz der Mundhygiene. Quintessenz, Berlin 1974.
94. RIETHE, P.: Zur Prophylaxe der juvenilen Parodontopathien. Dtsch Zahnärztl Z 23, 1271 (1968).
95. RUGG-GUNN, A. J., MacGREGOR, D.M.: A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. J Peridontol Res 13, 382 (1978).
96. SATO, S., PEDRAZZI, V., GUIMARÃES LARA, E. H., PANZERI, H., FERREIRA DE ALBUQUERQUE, R., ITO, I. Y.: Antimicrobial spray for toothbrush: an in vivo evaluation. Quintessence Int. 36, 812 (2005).
97. SAUERWEIN, E.: Traktat über die Zahnbürste. Dtsch Zahnärztl Z 17, 121 (1962).
98. SCONYERS, J. R., ALBERS, D. D., KELLY, R.: Relationship of bacteremia to toothbrushing in clinically healthy patients. Gen Dent 28, 51 (1979).
99. SCHEITHAUER, G.: Beitrag zur Entwicklung der motorischen Funktion beim gesunden und cerebralaparetischen Kind. Krankengymnastik 25, 200 (1973).
100. SILVER, J. G., MARTIN, A. W., McBRIDE, B. C.: Experimental transient bacteraemias in human subjects with clinically healthy gingivae. J Clin Periodontol 6, 33 (1979).
101. SPOLIDORIO, D. M., GOTO, E., NEGRINI, T. DE C., SPOLIDORIO, L. C.: Viabilità of Streptokokkus mutans on transparent and opaque toothbrushes. J Dent Hyg 77, 114 (2003).
102. SUHONEN, J.: Mutans Streptococci and their specific oral target. New implications to prevent dental caries? Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 286 (1992).

103. SVANBERG, M.: Contamination of toothpaste and toothbrush by *Streptococcus mutans*. Scand J Dent Res 86, 412 (1978).
104. TAJI, S. S., ROGERS, A. H.: The microbial contamination of toothbrushes. A pilot study. Aust Dent J 43, 128 (1998).
105. VERRAN, J., LEAHY-GILMARTIN, A. A.: Investigations into the microbial contamination of toothbrushes. Microbios 85, 231 (1996).
106. WANNENMACHER, E.: Die Bedeutung der richtigen Zahnpflege für die Gesunderhaltung des Kauorgans. Dtsch Zahnärztebl 19, 417 (1965).
107. WARREN, D. P., GOLDSCHMIDT, M. C., THOMPSON, M. B., ADLER-STORTHZ, K., KEENE, H. J.: The effects of toothpastes on the residual microbial contamination of toothbrushes. J Am Dent Assoc 132, 1241 (2001).
108. WETZEL, W. E., ALTHAUS, D., KOCKAPAN, C.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Borstenverankerung und Borstenenden an neuen Kinderzahnbürstenprodukten. Sozialpädiatrie 10, 319 (1988).
109. WETZEL, W. E., HANISCH, S., SZIEGOLEIT, A.: Keimbesiedlung der Mundhöhle bei Kleinkindern mit Nursing-Bottle-Syndrom. Schweiz Monatsschr Zahnmed 103, 1107 (1993).
110. WETZEL, W. E.: Oralhygiene bei Kleinkindern. Z Allg Med 71, 1029 (1995).
111. WETZEL, W. E.: Über Möglichkeiten und Grenzen der Zahnpflege bei Kleinkindern. Sozialpädiatrie 5, 566 (1983).
112. WETZEL, W. E.: Untersuchungen zur Eignung verschiedener neuerer Zahnbürsten für Kleinkinder. Oralprophylaxe 7, 41 (1985).
113. WETZEL, W. E., BOEMANS, B., LORBEER, J.: Fluoridierung: Kooperation zwischen Zahnarzt und Kinderarzt. Oralprophylaxe 21, 40 (1999).

114. WETZEL, W. E., SCHAUMBURG, C., ANSARI, F., KROEGER, T., SZIEGOLEIT, A.: Microbial contamination of toothbrushes with different principles of filament anchoring. JADA 136, 758 (2005).
115. ZUHRT, R.: Die Zahnbürste. Dtsch Stomat 9, 457 (1959).
116. ZUHRT, R.: Die Zahnbürste (Hygiene und Bakteriologie). Dtsch Stomat 9, 551 (1959).

## 9 Anhang

### 9.1 Anhang 1

#### ***Befunderhebungsbogen***

Kenn-Nr.: \_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung: \_\_\_\_\_ Monate

Geschlecht: ☐ weiblich  
☐ männlich

#### **1 Zahnstatus bei Studienbeginn**

18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
			55	54	53	52	51	61	62	63	64	65			
			85	84	83	82	81	71	72	73	74	75			
48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38

d = kariös, m = fehlt, f = gefüllt, FV = fissurenversiegelt

#### **2 dmf- t Befunde / DMF-T Befunde / DMF-T/dmf-t Befunde**

dmf- Wert: \_\_\_\_\_ DMF-Wert: \_\_\_\_\_ DMF-T/dmf-Wert: \_\_\_\_\_

d- Wert: \_\_\_\_\_ D-Wert: \_\_\_\_\_ D/d-Wert: \_\_\_\_\_

m- Wert: \_\_\_\_\_ M-Wert: \_\_\_\_\_ M/m-Wert: \_\_\_\_\_

f- Wert: \_\_\_\_\_ F-Wert: \_\_\_\_\_ F/f-Wert: \_\_\_\_\_

#### **3 Röntgenuntersuchung**

nein ja

Wenn ja, welche Aufnahmen ?

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

Kenn-Nr.: \_\_\_\_

#### 4 Fotodokumentation des Gebisses

nein

ja

Wenn ja, welche Aufnahmen ?

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

#### 5 Bestimmung des Plaque-Indexes nach QUIGLEY/HEIN

am: \_\_\_\_\_

Grad 0: = Keine Plaque, Grad 1: = vereinzelte Plaqueinseln, Grad 2: = deutliche Linie längs des Gingivarandes, Grad 3: = Plaqueausdehnung im zervikalen Zahndrittel, Grad 4: = Plaqueausdehnung bis ins zweite Zahndrittel, Grad 5: = Plaqueausdehnung über die 2/3-Linie hinaus

Erhebung des Plaque-Indexes nach QUIGLEY/HEIN an einer für das Gesamtgebiß repräsentativen Auswahl von sechs Zähnen (Ramfjord-Zähne):

Festlegen der Ramfjord-Zähne:

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Plaque-Index: \_\_\_\_\_

1. Sitzung: \_\_\_\_\_

 $\Sigma$ : \_\_\_\_\_


#### 6 Mikrobiologische Untersuchungen

##### 6.1 Untersuchung (Speichel) am: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ KBE Candida \_\_\_\_\_ / ml Speichel

Klasse: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ KBE S. mutans / ml Speichel

Klasse: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ KBE Laktobazillen / ml Speichel

Klasse: \_\_\_\_\_

**Keimzahlklassen** Candida: 0: keine; 1:  $<10^4$ ; 2:  $10^4$  bis  $<10^5$ ; 3:  $10^5$  bis  $<10^6$ ; 4:  $\geq 10^6$ ;  
 S. mutans: 0: keine; 1:  $<10^5$ ; 2:  $10^5$  bis  $<10^6$ ; 3:  $10^6$  bis  $<10^7$ ; 4:  $\geq 10^7$ ;  
 Laktobazillen: 0: keine; 1:  $<10^4$ ; 2:  $10^4$  bis  $<10^5$ ; 3:  $10^5$  bis  $<10^6$ ; 4:  $\geq 10^6$ ;



Kenn-Nr.: \_\_\_\_

**6.2 Untersuchung (Zahnbürsten) am: \_\_\_\_\_**

Trocknungszeit: \_\_\_\_

Quadranten	Zahnbürsten	S. mutans	Laktobazillen	Candida albicans
I. und IV.		/ ml Lsg.	/ ml Lsg.	/ ml Lsg.
II. und III.		/ ml Lsg.	/ ml Lsg.	/ ml Lsg.
Zahnbürste mitgegeben		/ ml Lsg.	/ ml Lsg.	/ ml Lsg.

Legende: Besteckungstypen: A – Bündel-Stanzbesteckung /  
Erwachsenenzahnbürste  
B - Bündel-Einspritzbesteckung /  
Erwachsenenzahnbürste  
C - Bündel-Stanzbesteckung /Kinderzahnbürste  
D - Bündel-Einfügebesteckung /Kinderzahnbürste

## 9.2 Anhang 2

Ergebnisse der statistischen Datenanalyse der Bürsten A und B mittels *Mann-Whitney U-test*

Besteckungsprinzip	A Bündel-Stanzbesteckung (Erwachsenenzahnbürste)		B Bündel-Einspritzbesteckung (Erwachsenenzahnbürste)	
	S. m.	L. b.	S. m.	L. b.
A Bündel-Stanzbesteckung (Erwachsenenzahnbürste)	-	-	n. s.	n. s.
B Bündel- Einspritzbesteckung (Erwachsenenzahnbürste)	n. s.	n. s.	-	-

\*       signifikant  
 \*\*      sehr signifikant  
 \*\*\*     höchst signifikant  
 n. s.   nicht signifikant

S. m. *Streptococcus mutans*  
 L.b.. Laktobazillen

## 9.3 Anhang 3

Ergebnisse der statistischen Datenanalyse der Kinderzahnbürsten C und D mittels *Mann-Whitney U-test*

Besteckungsprinzip	C Bündel-Stanzbesteckung (Kinderzahnbürste)		D Bündel-Einfügebsteckung (Kinderzahnbürste)	
	S. m.	L. b.	S. m.	L. b.
C Bündel-Stanzbesteckung (Kinderzahnbürste)	-	-	n. s.	n. s.
D Bündel-Einspritzbesteckung (Kinderzahnbürste)	n. s.	n. s.	-	-

\*       signifikant  
 \*\*      sehr signifikant  
 \*\*\*     höchst signifikant  
 n. s.   nicht signifikant

S. m. *Streptococcus mutans*  
 L.b.. Laktobazillen

## Lebenslauf

### Persönliche Angaben

Name	Torsten Kröger
Geburtsdatum	19.06.1975
Geburtsort	Würzburg
Eltern	Dr. med. dent. Hans Josef Kröger Waltraud Kröger, geb. Bieker

### Schulischer und beruflicher Werdegang

1982-1986	Grundschule Wewer
1986-1995	Gymnasium Theodorianum Paderborn
Juni 1995	Erlangung der Allgemeinen Hochschulreife
1995-1996	Wehrdienst als Feldjäger Ausbildung zum Feldjäger-Unteroffizier an der Schule für Feldjäger und Stabsdienst Sonthofen
1996-2002	Studium der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-Universität Giessen
11.01.1999	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
07.04.2000	Zahnärztliche Vorprüfung
13.12.2002	Zahnärztliche Prüfung
17.12.2002	Erteilung der Approbation als Zahnarzt
24.01.2003	Beginn der Tätigkeit als Assistenz-Zahnarzt in der Praxis Dr. Kröger & Partner, Paderborn
2003-2005	Postgraduiertenstudium zum „Master of Science Implantologie“ an der Donau-Universität zu Krems, Österreich
01.10.2005	Niederlassung in der Praxis Dr. Kröger & Partner, Paderborn
06.2006-06.2007	Auslandsaufenthalt in der Schweiz. Selbständige Tätigkeit in einer Privatpraxis in Aarau für drei Tage pro Woche. Weiterhin selbständige Tätigkeit in Paderborn.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bedanken bei:

- Herrn Professor W. –E. Wetzel für die Überlassung des Themas sowie die freundliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit,
- dem gesamten Institut für Medizinische Mikrobiologie der Justus-Liebig-Universität Giessen für die gute Zusammenarbeit,
- den Mitarbeitern der Poliklinik für Kinderzahnheilkunde, Frau I. Heidmann (MTA) für die Hilfe bei der Erstellung der licht- und rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen und Frau Dr. Ansari für die hilfreiche Betreuung,
- Herrn H. Bethge für die Hilfe bei der photographischen Dokumentation.

Die zugrunde liegende wissenschaftliche Studie wurde im Rahmen eines von der Firma CORONET-Verwaltungsgesellschaft mbH (Wald-Michelbach, Deutschland) geförderten Drittmittelprojektes durchgeführt.

In memoriam Herrn Senior-Chef / Geschäftsführer Georg Weihrauch  
(†14. Januar 2004).